

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 758 825**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 19/05</b>	(2006.01)
<b>B21C 23/08</b>	(2006.01)
<b>C22B 9/18</b>	(2006.01)
<b>C22B 9/187</b>	(2006.01)
<b>C22F 1/10</b>	(2006.01)
<b>C22F 1/00</b>	(2006.01)
<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)
<b>C21D 7/13</b>	(2006.01)
<b>C21D 8/10</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/08</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.05.2009 PCT/JP2009/059249**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **26.11.2009 WO09142228**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2009 E 09750590 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 2281908**

54 Título: **Tubo de gran resistencia, basado en una aleación de Ni, para ser usado en plantas de energía nuclear y su proceso de producción**

30 Prioridad:

**22.05.2008 JP 2008134549**

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

**06.05.2020**

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)  
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku  
Tokyo 100-8071 , JP**

72 Inventor/es:

**YOKOYAMA, TETSUO y  
ANADA, HIROYUKI**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 758 825 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**

Tubo de gran resistencia, basado en una aleación de Ni, para ser usado en plantas de energía nuclear y su proceso de producción

5

[Ámbito técnico]

La presente invención se refiere a un tubo de aleación a base de Ni con excelente resistencia a la corrosión en un ambiente acuoso de alta temperatura y presión de una central nuclear y a un método para producirlo. La presente invención se refiere más concretamente a un tubo de aleación a base de Ni, adecuado para un componente estructural tal como una boquilla de penetración de un recipiente de un reactor de agua presurizada (RAP) y a un método para producirlo.

10

[Antecedentes]

15

Como es preciso que un componente estructural del recipiente de un reactor sea resistente a la corrosión, en concreto al agrietamiento por corrosión bajo tensión en un ambiente acuoso de alta temperatura y presión, se ha empleado una aleación a base de Ni que tiene una excelente resistencia a la corrosión, Inconel 600 (15% Cr-75% Ni) o Inconel 690 (30% Cr-60% Ni).

20

Para mejorar aún más la resistencia a la corrosión de estas aleaciones basadas en Ni se han propuesto varias técnicas, que se describen a continuación.

25

Por ejemplo, los documentos de patente 1 y 2 describen una aleación a base de Ni cuya resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión mejora realizando un recocido final a una temperatura de calentamiento regulada y durante un tiempo de permanencia, tras la extrusión y el trabajo en frío. El documento de patente 3 describe una aleación a base de Ni cuya resistencia al daño de la interfase granular se mejora formando una capa de aleación amorfa aplicada sobre la capa superficial, para eliminar las interfases granulares. El documento de patente 4 describe una aleación muy resistente a base de Ni cuya resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión se incrementa formando una microestructura en la cual precipita  $M_{23}C_6$ , preferentemente de manera semicontinua en las interfases granulares, que contiene al menos una fase  $\gamma'$  o una fase  $\gamma''$  en una matriz  $\gamma$ . El documento de patente 5 describe una aleación a base de Ni cuya resistencia a la corrosión intergranular, al agrietamiento por corrosión debida a la tensión intergranular y a la estabilidad mecánica en una zona afectada por el calor de soldadura se mejoran equilibrando convenientemente el contenido de los componentes de C, N y Nb. El documento de patente 6 describe una aleación a base de Ni cuya resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión intergranular se mejora formando una microestructura en la cual la proporción de límites de ángulo bajo en las interfases granulares es del 4% o más.

35

[Relación de citas]

40

[Documentos de patente]

[Documento de patente 1] JP60-245773A

[Documento de patente 2] JP58-67854A

[Documento de patente 3] JP61-69938A

45

[Documento de patente 4] JP62-167836A

[Documento de patente 5] JP1-132731A

[Documento de patente 6] JP2004-218076A

50

[Resumen de la presente invención]

[Problema técnico]

55

Tal como se ha expuesto arriba, ha habido muchas propuestas para mejorar la resistencia a la corrosión de los tubos de aleación a base de Ni. En el caso del tubo de aleación a base de Ni, las variaciones del tamaño de grano y el aumento de la resistencia debido a la solución del recocido y al tratamiento térmico posterior para la precipitación de los carburos disminuyen a veces la resistencia en una parte del extremo del tubo o similar. Por tanto, en algunos casos hay que cortar inevitablemente una porción defectuosa y esto supone un problema de menor rendimiento.

60

La presente invención se ha llevado a cabo para resolver el problema antedicho y, por lo tanto, un objetivo de la misma es proporcionar un tubo muy resistente de aleación a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear, que tenga una resistencia uniforme a elevada temperatura a lo largo de todo el tubo, y un método para producirlo.

[Solución al problema]

65

Los presentes inventores llevaron a cabo diversos estudios y ensayos sobre las causas de mejora de la resistencia a altas temperaturas de un tubo muy resistente de aleación a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear,

y obtuvieron los resultados indicados en los siguientes puntos (a) hasta (j):

(a) Para mejorar la resistencia a altas temperaturas de un tubo muy resistente de aleación a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear, es necesario que contenga Ti y Nb. El Ti y el Nb se combinan con C y N para precipitar carbo-nitruros productores de grano fino.

(b) Para la extrusión en caliente es preferible una temperatura de calentamiento que no produzca el engrosamiento del grano, y aunque el carbo-nitruro de Cr se trata en solución, los carbo-nitruros de Ti o Nb que sirven para obtener el grano fino no se tratan en solución.

(c) Para conseguir el grano fino, no solo debe regularse la temperatura de extrusión en caliente, sino que además se debe aumentar la relación de trabajo.

(d) Cuando hay segregación de Cr en un material de entrada que debe extruirse en caliente, las temperaturas de disolución completa de los carbo-nitruros de Cr difieren localmente y por lo tanto los carbo-nitruros de Cr precipitan también localmente. La precipitación local de los carbonitruros de Cr da como resultado la obstrucción local de la precipitación de carbo-nitruros de Ti o Nb. Por lo tanto, cuando hay segregación de Cr en un material de entrada que debe extruirse en caliente, aunque contenga Ti y Nb, aparece un sitio donde se obstruye la precipitación de los carbo-nitruros de Ti o Nb, por lo cual no se puede conseguir una refinación uniforme del grano.

(e) Además, análogamente, cuando hay segregación de Ti, Nb, C o N, los carbo-nitruros de Ti o Nb no precipitan de modo uniforme y por lo tanto no se puede obtener una microestructura en la cual se dispersen uniformemente los granos finos.

(f) Es decir, para mejorar uniformemente la resistencia a temperatura elevada a lo largo de todo el tubo de aleación de alta resistencia a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear, los carbo-nitruros de Ti o de Nb deben precipitarse de forma dispersa controlando la temperatura de calentamiento antes de la extrusión en caliente y la relación de trabajo durante la extrusión en caliente, aunque no solo hay contenido de Ti y Nb, sino que también se restringe la segregación de elementos constituyentes del tubo de aleación a base de Ni. Como valor objetivo del tamaño de grano del tubo de aleación de alta resistencia a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear, se exige una finura de grano correspondiente al tamaño nº 6 o superior según la norma JIS G 0551.

(g) Como método para restringir la segregación de elementos constituyentes del tubo de aleación a base de Ni se puede usar un proceso de refundición, por ejemplo un proceso de refundición de electroescoria (ESR) o un proceso de refundición por arco al vacío (VAR). Si se aplica el proceso de refundición de electroescoria (ESR), su velocidad media de fusión debería ser preferiblemente de 200 a 600 kg/h. A una velocidad superior a 600 kg/h la flotación de impurezas durante la fusión es escasa y, por tanto, la restricción de la segregación puede ser insuficiente. Por otra parte, a una velocidad inferior a 200 kg/h la productividad es demasiado baja.

(h) En cuanto a las condiciones de temperatura de calentamiento antes de la extrusión en caliente y la relación de trabajo durante la extrusión en caliente, es preferible forjar en caliente un material de aleación a base de Ni obtenido mediante el proceso de refundición de electroescoria (ESR) o el proceso de refundición por arco al vacío (VAR), calentarlo luego entre 1000 y 1160°C y después extruirlo en caliente a una relación de trabajo tal, que la relación de extrusión sea igual a 4 o mayor. La relación de extrusión se define como la relación entre las áreas de la sección transversal antes y después de la extrusión.

La razón de fijar el límite superior de la temperatura de calentamiento a 1160°C antes de la extrusión en caliente es el uso de una temperatura a la cual los carbo-nitruros de Cr son tratados en solución y los carbo-nitruros de Ti o Nb no son tratados en solución. La razón de fijar el límite inferior de la temperatura de calentamiento a 1000°C antes de la extrusión en caliente es que a una temperatura inferior a 1000°C la resistencia a la deformación durante la extrusión en caliente es demasiado grande. La razón por la cual la relación de trabajo de la extrusión en caliente se fija preferiblemente a una relación de extrusión de 4 o más alta, es que con esta relación se puede obtener un trabajo suficiente y por lo tanto una recristalización uniforme, lo cual da como resultado un grano suficientemente fino. Se prefiere aún más que la relación de extrusión sea igual a 5 o superior. El límite superior de la relación de extrusión no se especifica especialmente. Sin embargo, como a medida que sube la relación de extrusión hay el riesgo de que aparezcan defectos tales como imperfecciones en el producto y además debe aumentarse el tamaño del equipo, la relación de extrusión se establece preferiblemente en 30 o menos.

(i) Tras la extrusión en caliente se debería llevar a cabo un recocido por disolución y un tratamiento térmico.

Un objetivo del recocido por disolución es el de disolver suficientemente los carburos ahí contenidos a fin de ser tratados en solución. Para ello la temperatura de calentamiento se establece preferiblemente entre 980 y 1200°C. Una temperatura de calentamiento de 980°C o más puede mejorar la resistencia a la corrosión, porque los carburos pueden estar suficientemente disueltos para ser tratados en solución. En cambio una temperatura de calentamiento superior a 1200°C puede mermar la resistencia debido al engrosamiento de los granos. El límite superior preferible de la temperatura de calentamiento es de 1090°C.

Un objetivo del tratamiento térmico es el de precipitar los carburos en las interfases granulares. Con este propósito la temperatura de calentamiento se establece preferiblemente entre 550 y 850°C. Si el calentamiento se lleva a cabo dentro de este intervalo de temperatura, los carburos se pueden precipitar suficientemente en las interfases granulares.

Cuando se desea obtener un tubo de aleación a base de Ni de pequeño diámetro, el recocido por disolución y el tratamiento térmico se realizan preferiblemente después del estirado y laminado en frío posterior a la extrusión en caliente.

(j) En cuanto a los valores deseados de resistencia a alta temperatura del tubo de aleación a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear de acuerdo con la presente invención, por ejemplo, el límite elástico de diseño a 350°C especificado en la normativa JSME S NC-1 de plantas generadoras de energía nuclear es de 199 MPa, y la resistencia a la tracción de diseño es de 530 MPa. Para conseguir estos valores se requiere que el tubo de gran

## ES 2 758 825 T3

resistencia de aleación a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear, tenga una finura de grano correspondiente al tamaño nº 6 o superior según la norma JIS G 0551.

5 La presente invención se completó basándose en los hallazgos arriba descritos, y la esencia de la misma es un tubo de aleación a base de Ni de alta resistencia destinado al uso en plantas de energía nuclear y un método para producirlo.

10 (1) Un tubo de aleación de alta resistencia a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear, constituido en porcentaje en masa por C: 0,04% o menos, Si: 0,10 a 0,50%, Mn: 0,05 a 0,50%, Ni: 55 a 70%, Cr: más del 26% y no más del 35%, Al: 0,005 a 0,5%, N: 0,02 a 0,10%, y uno o más entre Ti: 0,01 a 0,5% y Nb: 0,02 a 1,0%, siendo el resto Fe e impurezas, de modo que dicho tubo de aleación tenga una segregación restringida de estos elementos constitutivos, obtenida mediante un proceso de refundición, y una finura de grano correspondiente al tamaño nº 6 o superior según la norma JIS G 0551.

15 (2) Un método para producir un tubo de aleación de alta resistencia a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear, que consiste en preparar un material de aleación a base de Ni mediante un proceso de refundición, constituido en porcentaje en masa por C: 0,04% o menos, Si: 0,10 a 0,50%, Mn: 0,05 a 0,50%, Ni: 55 a 70%, Cr: más del 26% y no más del 35%, Al: 0,005 a 0,5%, N: 0,02 a 0,10%, y uno o más elementos elegidos entre Ti: 0,01 a 0,5% y Nb: 0,02 a 1,0%, siendo el resto Fe e impurezas, forjarlo en caliente, calentarlo entre 1000 y 1160°C, extruirlo en caliente a una relación de trabajo tal, que la relación de extrusión sea igual a 4 o mayor, y llevar a cabo un recocido por disolución y un tratamiento térmico.

25 [Efectos ventajosos de la presente invención]

La presente invención puede proporcionar un tubo de aleación a base de Ni de alta resistencia, destinado al uso en plantas de energía nuclear, que tenga una resistencia uniforme a altas temperaturas en toda su longitud, y un método para producirlo.

30 [Forma de ejecución de la presente invención]

A continuación se expone una composición química constituyente del tubo de aleación a base de Ni de alta resistencia, destinado al uso en plantas de energía nuclear de acuerdo con la presente invención, y se explican las razones para restringir el contenido de los componentes. En la siguiente descripción “%” asociado al contenido indica “% en masa”.

35 C: 0,04% o menos

40 El C (carbono) es un elemento necesario para asegurar la resistencia. No obstante, si el contenido supera el 0,04% aumentan los carburos de Cr y disminuye la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por tanto el límite superior del contenido de C se estableció en 0,04%. El límite superior preferible es del 0,03% o menos. Si se quiere asegurar la resistencia mediante el contenido de C, es preferiblemente que lleve 0,01% o más de C.

Si: 0,10 hasta 0,50%

45 El Si (silicio) es un elemento utilizado como desoxidante. Para lograr este efecto se requiere un contenido del 0,10% o más de Si. Por otro lado, si el contenido de Si supera el 0,50% se deteriora la soldabilidad y disminuye el grado de pureza. Por lo tanto, el contenido de Si se ajustó entre 0,10 y 0,50%. El contenido preferible de Si es del 0,22 al 0,45%.

50 Mn: 0,05 hasta 0,50%

El Mn (manganeso) es un elemento que tiene el efecto de mejorar la capacidad de extrusión en caliente fijando S, que es una impureza, en forma de MnS, y también es eficaz como desoxidante. Para asegurar la capacidad de extrusión en caliente la aleación debe contener 0,05% o más de Mn. Por otra parte, un contenido excesivo de Mn superior al 0,50% disminuye el grado de limpieza de la aleación. Por lo tanto, el contenido de Mn se ajustó entre 0,05 y 0,50%.

55 Ni: 55 hasta 70%

60 El Ni (níquel) es un elemento eficaz para asegurar la resistencia a la corrosión de la aleación. En particular el Ni actúa valiosamente mejorando la resistencia a los ácidos y al agrietamiento por corrosión bajo tensión intergranular en agua a temperatura alta con contenido de iones cloruro, lo cual requiere un 55% o más de Ni. Por otro lado, el límite superior del contenido de Ni es del 70% respecto al contenido necesario de otros elementos como Cr, Mn, Si y similares. Por lo tanto, el contenido de Ni debe ser del 55 al 70%. El intervalo preferible de contenido de Ni es de más del 58% y no más del 65%. El intervalo más preferido del contenido de Ni es de más del 60% y no más del 65%.

65 Cr: más del 26% y no más del 35%

El Cr (cromo) es un elemento necesario para mantener la resistencia anticorrosiva de la aleación. Para asegurar la debida resistencia a la corrosión, el contenido de Cr debe exceder el 26%. Por otro lado, si el contenido de Cr supera el 35%, se deteriora notablemente la capacidad de extrusión en caliente. Por tanto el contenido de Cr debe ser superior al 26% y no superior al 35%. El contenido preferible de Cr es de más del 27% y no más del 32%, con mayor preferencia del 28 al 31%.

Al: 0,005 hasta 0,5%

El Al (aluminio) es un elemento que actúa como desoxidante, al igual que el Si y, por lo tanto se necesita un contenido del 0,005% o más de Al. Por otro lado, si el contenido de Al supera el 0,5% disminuye el grado de pureza de la aleación, por lo cual el contenido de Al se estableció en no más del 0,5%. El contenido preferible de Al es del 0,02 al 0,3%.

N: 0,02 hasta 0,10%

El N (nitrógeno) forma carbo-nitruros de Ti o Nb junto con C para mejorar la resistencia de la aleación. Además, en la presente invención, junto con el efecto restrictivo de la segregación de N, C, Ti y Nb debida al proceso de refundición, estos carbo-nitruros se pueden precipitar de manera dispersa y uniforme, para obtener una microestructura de grano fino tras la extrusión en caliente. Para lograr este efecto, el contenido de N debe ser del 0,02% o superior. Por otro lado, un contenido de N mayor del 0,10% produce un aumento excesivo de los nitruros, deteriorando la capacidad de extrusión en caliente y la ductilidad. Por lo tanto, el contenido de N se ajustó entre 0,02 y 0,10%. El contenido preferible de N es del 0,03 al 0,06%.

Uno o más elementos elegidos entre Ti: 0,01 hasta 0,5% y Nb: 0,02 hasta 1,0%

El Ti (titanio) aumenta la resistencia de la aleación, formando carbo-nitruros, y mejora la capacidad de extrusión en caliente. Para conseguir estos efectos, el contenido de Ti debe ser del 0,01% o más. Por otro lado, si el contenido de Ti supera el 0,5%, no solo se saturan los efectos, sino que además se ve afectada la ductilidad por la producción de compuestos intermetálicos. Por lo tanto, el contenido de Ti se ajustó entre 0,01 y 0,5%. El contenido preferible de Ti es del 0,05 al 0,3%.

El Nb (niobio), al igual que el Ti, aumenta la resistencia de la aleación, formando carbo-nitruros, y mejora la capacidad de extrusión en caliente. Para conseguir estos efectos, el contenido de Nb debe ser del 0,02% o más. Por otro lado, si el contenido de Nb supera el 1,0%, no solo se saturan los efectos, sino que además se ve afectada la ductilidad por la producción de compuestos intermetálicos. Por lo tanto, el contenido de Nb se ajustó entre 0,02 y 1,0%. El contenido preferible de Nb es del 0,1 al 0,6%.

[Ejemplo 1]

Una aleación a base de Ni que tiene la composición química indicada en la tabla 1 se fundió en un horno eléctrico, y después se refinó por AOD y VOD. Posteriormente, la aleación se refundió por ESR a una velocidad media de fusión de 500 kg/h para obtener un material de aleación a base de Ni. Después de calentarlo a 1270°C y forjarlo en caliente con una relación de forja igual a 5, el material de aleación se moldeó en forma de lingote para la extrusión en caliente. Después de calentarlo modificando a temperatura, el lingote se extruyó en caliente con una relación de extrusión de 5 para obtener un tubo de aleación a base de Ni que tenía un diámetro exterior de 115 mm y un espesor de pared de 27,5 mm. El tubo de aleación se sometió a un recocido por disolución a 1075°C × 30 min y a un tratamiento térmico de 700°C × 900 min para obtener un producto final. Como comparación se elaboró un producto final del mismo modo, usando un material de aleación a base de Ni para el cual se omitió la refundición por ESR.

[Tabla 1]

Tabla 1

Aleación nº	Composición química (% en masa, el resto: Fe e impurezas)								
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Al	N	Ti	Nb
1	0,02	0,24	0,28	59	30	0,08	0,03	0,21	-
2	0,02	0,25	0,28	60	30	0,10	0,03	-	0,45

La tabla 2 indica si se ha realizado el proceso de refundición por ESR y las diferentes temperaturas de calentamiento antes de la extrusión en caliente.

# ES 2 758 825 T3

[Tabla 2]

Tabla 2

Aleación nº	Proceso de refundición ESR	Temperatura de calentamiento (°C) antes de la extrusión	Relación de extrusión	Índice del tamaño medio de grano	Ensayo de tracción a temperatura alta (350°C)			
					Límite elástico (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Resultado (*)
1	Realizado	1100°C	5	75	240	580	47	○
		1150°C	5	67	225	575	49	○
		1200°C	5	52	198	530	50	X
	No realizado	1150°C	5	57	195	537	53	X
		1200°C	5	42	186	515	51	X
2	Realizado	1100°C	5	77	243	582	45	○
		1150°C	5	68	228	577	47	○
		1200°C	5	54	198	533	50	X
	No realizado	1150°C	5	56	196	539	50	X
		1200°C	5	45	188	518	50	X

\*Nota: ○: se alcanzaron los valores deseados del límite elástico y de la resistencia a la tracción, 199 MPa y 530 MPa, respectivamente.

X: ni el límite elástico ni la resistencia a la tracción alcanzaron los valores deseados anteriormente indicados.

5 Se tomaron muestras en una posición a 150 mm del extremo del tubo obtenido con aleación a base de Ni para medir el tamaño de grano según la norma JIS G 0551 y realizar un ensayo de tracción a 350°C según la norma JIS G 0567. Los resultados de las pruebas también están indicados en la tabla 2.

10 Los resultados de las pruebas indicados en la tabla 2 revelaron que, empleando el proceso de refundición por ESR y seleccionando adecuadamente la temperatura de calentamiento antes de la extrusión en caliente, se puede obtener una aleación a base de Ni que tenga una microestructura fina y una gran resistencia a temperatura elevada (350°C).

[Aplicabilidad industrial]

15 Tal como se ha descrito anteriormente, la presente invención puede proporcionar un tubo de aleación a base de Ni de alta resistencia, destinado al uso en plantas de energía nuclear, que tenga una resistencia uniforme a alta temperatura a lo largo de todo el tubo, y un método para producirlo.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un tubo de aleación muy resistente a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear, que está constituido en porcentaje en masa por C: 0,04% o menos, Si: 0,10 a 0,50%, Mn: 0,05 a 0,50%, Ni: 55 a 70 %, Cr: más del 26% y no más del 35%, Al: 0,005 a 0,5%, N: 0,02 a 0,10%, y uno o más elementos elegidos entre Ti: 0,01 hasta 0,5% y Nb: 0,02 hasta 1,0%, siendo el resto Fe e impurezas, de modo que dicho tubo de aleación tiene una segregación restringida de dichos elementos constitutivos, obtenida mediante un proceso de refundición, en que el grano tiene una finura correspondiente al tamaño nº 6 o superior según la norma JIS G 0551.
- 10 2. Un método para producir un tubo de aleación muy resistente a base de Ni, destinado al uso en plantas de energía nuclear, que consiste en  
preparar un material de aleación a base de Ni mediante un proceso de refundición, constituido en porcentaje en masa por C: 0,04% o menos, Si: 0,10 a 0,50%, Mn: 0,05 a 0,50%, Ni: 55 a 70%, Cr: más del 26% y no más del 15 35%, Al: 0,005 a 0,5%, N: 0,02 a 0,10%, y uno o más elementos elegidos entre Ti: 0,01 a 0,5% y Nb: 0,02 a 1,0%, siendo el resto Fe e impurezas,  
forjarlo en caliente,  
calentarlo entre 1000 y 1160°C,  
extruirlo en caliente a una relación de trabajo tal, que la relación de extrusión sea igual a 4 o mayor, y  
20 llevar a cabo un recocido por disolución y un tratamiento térmico.