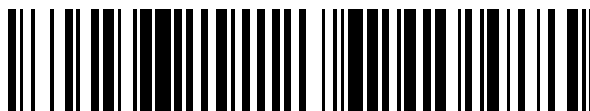


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 753**

51 Int. Cl.:

C21C 7/064 (2006.01)

C22C 38/44 (2006.01)

C22C 38/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2009 E 09713773 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2012 EP 2247761**

54 Título: **Método de preparación de un acero inoxidable de alta resistencia, alta tenacidad, resistente a la fatiga y endurecible por precipitación**

30 Prioridad:

29.02.2008 US 32598 P

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

24.04.2013

73 Titular/es:

**CRS HOLDINGS, INC. (100.0%)
1105 North Market Street, Suite 601
Wilmington, DE 19801, US**

72 Inventor/es:

**KRIEBLE, ROBERT, WAYNE;
MARTIN, WILLIAM, JOSEPH;
ZOGAS, THOMAS, CONSTANTINE;
WERT, DAVID, ELMER y
NOVOTNY, PAUL, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 401 753 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

Método de preparación de un acero inoxidable de alta resistencia, alta tenacidad, resistente a la fatiga y endurecible por precipitación.

Antecedentes de la invención

5 Campo de la invención

Esta invención se refiere a un método de preparación de aleaciones de acero inoxidable endurecibles por precipitación para reducir el tamaño y la distribución de inclusiones que afectan adversamente a la resistencia a la fatiga y la tenacidad a la fractura proporcionadas por tales aleaciones.

Descripción de la técnica relacionada

10 La patente estadounidense n.º 5.681.528 y la patente estadounidense n.º 5.855.844 describen aceros inoxidables de alta resistencia, dúctiles a la entalla, de endurecimiento por precipitación. Estas aleaciones se usan para aplicaciones estructurales en la industria aeroespacial y en muchos usos no aeroespaciales adicionales. Los ensayos de las aleaciones conocidas por la industria aeroespacial han indicado que la longevidad a la fatiga proporcionada por las aleaciones, aunque se considera que es aceptable, deja algo que desear. La longevidad a la fatiga es un parámetro muy importante para el diseño de elementos estructurales aeroespaciales. Una longevidad a la fatiga mejorada permitiría o bien ahorros en el peso del producto o bien una vida útil de diseño más prolongada para los componentes estructurales. Se desea proporcionar una resistencia a la fatiga mejorada con relación a las aleaciones conocidas, mientras que se mantiene todavía la excelente combinación de resistencia, tenacidad y resistencia a la corrosión que proporcionan las aleaciones conocidas.

15 20 Los ensayos de fatiga mencionados anteriormente han demostrado que la mayoría de las roturas por fatiga se inician en las grandes inclusiones de segunda fase, que están presentes en el material como resultado de la composición y el procesamiento de la aleación. La aleación preparada según la presente invención está diseñada para proporcionar resistencia y tenacidad que son equivalentes a las de la aleación conocida, pero sin las grandes inclusiones de segunda fase resultantes que afectan adversamente a la resistencia a la fatiga de la aleación conocida.

Sumario de la invención

30 La mejora en la longevidad a la fatiga deseada para las aleaciones de acero inoxidable endurecibles por precipitación conocidas se logra en gran medida preparando una aleación de acero inoxidable de alta resistencia, de alta tenacidad y endurecible por precipitación mediante el método de la reivindicación 1, según un primer aspecto de la presente invención.

Los intervalos de composición amplios, intermedios y preferidos del acero inoxidable martensítico, de endurecimiento por precipitación usado en la presente invención son tal como sigue, en tanto por ciento en peso:

	Amplio	Intermedio	Preferido
C	0,03 como máx.	0,02 como máx.	0,015 como máx.
Mn	1,0 como máx.	0,25 como máx.	0,10 como máx.
Si	0,75 como máx.	0,25 como máx.	0,10 como máx.
P	0,040 como máx.	0,015 como máx.	0,010 como máx.
S	0,020 como máx.	0,010 como máx.	0,005 como máx.
Cr	10-13	10,5-12,5	11,0-12,0
Ni	10,5-11,6	10,75-11,25	10,85-11,25

(continuación)

	Amplio	Intermedio	Preferido
Ti	1,5-1,8	1,5-1,7	1,5-1,7
Mo	0,25-1,5	0,75-1,25	0,9-1,1
Cu	0,95 como máx.	0,50 como máx.	0,25 como máx.
Al	0,25 como máx.	0,050 como máx.	0,025 como máx.
Nb	0,3 como máx.	0,050 como máx.	0,025 como máx.
B	0,010 como máx.	0,001-0,005	0,0015-0,0035
N	0,030 como máx.	0,015 como máx.	0,010 como máx.

5 El resto de la aleación es hierro excepto por las impurezas habituales que se encuentran en calidades comerciales de tales aceros y cantidades minoritarias de elementos adicionales que pueden variar de unas cuantas milésimas de un tanto por ciento hasta cantidades mayores que no le restan valor de manera inaceptable a la combinación deseada de propiedades proporcionadas por esta aleación.

10 La tabulación anterior se proporciona como un resumen conveniente y no se pretende de ese modo restringir los valores inferiores y superiores de los intervalos de los elementos individuales de la aleación usada en esta invención para su uso en combinación unos con otros, ni restringir los intervalos de los elementos para su uso únicamente en combinación unos con otros. Por tanto, pueden usarse uno o más de los intervalos de elementos de la composición amplia con uno o más de los otros intervalos para los elementos restantes en la composición preferida. Además, puede usarse un mínimo o un máximo para un elemento de una realización preferida con el máximo o el mínimo para ese elemento de otra realización preferida. En la totalidad de esta solicitud, tanto por ciento (%) significa tanto
15 por ciento en peso a menos que se indique de otro modo. El término "inclusión" engloba partículas y fases secundarias tales como sulfuros, óxidos, oxisulfuros, carburos, nitruros y carbonitruros.

Descripción detallada

20 En la aleación preparada según la presente invención, se logra la combinación única de resistencia, tenacidad a la entalla y resistencia a la fisuración por corrosión bajo tensión equilibrando los elementos cromo, níquel, titanio y molibdeno. Al menos aproximadamente el 10%, mejor aún al menos aproximadamente el 10,5%, y preferiblemente al menos aproximadamente el 11,0% de cromo está presente en la aleación para proporcionar resistencia a la corrosión acorde con la de un acero inoxidable convencional en condiciones oxidantes. Al menos aproximadamente el 10,5%, mejor aún al menos aproximadamente el 10,75%, y preferiblemente al menos aproximadamente el 10,85%
25 de níquel está presente en la aleación porque beneficia la tenacidad a la entalla de la aleación. Al menos aproximadamente el 1,5% de titanio está presente en la aleación para beneficiar la resistencia de la aleación a través de la precipitación de una fase rica en níquel-titanio durante el envejecimiento. Al menos aproximadamente el 0,25%, mejor aún al menos aproximadamente el 0,75%, y preferiblemente al menos aproximadamente el 0,9% de molibdeno también está presente en la aleación porque contribuye a la tenacidad a la entalla de la aleación. El molibdeno también beneficia la resistencia a la corrosión de la aleación en medios reductores y en entornos que
30 promueven el ataque por picaduras y la fisuración por corrosión bajo tensión.

35 Cuando el cromo, níquel, titanio y/o molibdeno no están equilibrados apropiadamente, se inhibe la capacidad de la aleación para transformarse completamente en una estructura martensítica usando técnicas de procesamiento convencionales. Además, un equilibrio inapropiado de cromo, níquel, titanio y molibdeno en esta aleación altera la capacidad de la aleación para mantenerse completamente martensítica de manera sustancial cuando se trata en disolución y se endurece por envejecimiento. En tales condiciones, la resistencia proporcionada por la aleación se reduce significativamente. Por tanto, el cromo, níquel, titanio y molibdeno presentes en esta aleación están restringidos. Más particularmente, el cromo está limitado a no más de aproximadamente el 13%, mejor aún a no más de aproximadamente el 12,5%, y preferiblemente a no más de aproximadamente el 12,0% y el níquel está limitado a no más de aproximadamente el 11,6% y preferiblemente a no más de aproximadamente el 11,25%. El titanio está
40 restringido a no más de aproximadamente el 1,8% y preferiblemente a no más de aproximadamente el 1,7% y el molibdeno está restringido a no más de aproximadamente el 1,5%, mejor aún a no más de aproximadamente el 1,25%, y preferiblemente a no más de aproximadamente el 1,1%.

El azufre en esta aleación tiende a combinarse con el manganeso y/o titanio para formar sulfuros de manganeso

(MnS) y/o sulfuros de titanio (TiS) que afectan adversamente a la tenacidad a la fractura, tenacidad a la entalla y resistencia a la tracción sobre probeta entallada de la aleación. Una forma de producto de esta aleación que tiene una gran sección transversal, es decir, $>0,7$ pulgadas² (>4 cm²), no experimenta suficiente procesamiento termomecánico para homogeneizar la aleación y neutralizar el efecto adverso de las inclusiones de sulfuro. Se realiza preferiblemente una pequeña adición de calcio a la aleación para beneficiar la resistencia a la fatiga de la aleación mediante combinación con azufre para facilitar la eliminación del azufre de la aleación. En la aleación conocida, se usan pequeñas adiciones de cerio, lantano y/u otros metales de las tierras raras para beneficiar las propiedades de tenacidad y tenacidad a la fractura, especialmente en grandes tamaños en sección. Sin embargo, aunque el uso de tal tratamiento con tierras raras beneficia la tenacidad de la aleación, ahora se ha encontrado que remanentes de tales inclusiones de tierras raras también pueden servir como sitios de iniciación de fisuración que afectan adversamente a la resistencia a la fatiga de la aleación. Por tanto, no se usan adiciones de tierras raras en la presente aleación de modo que se evite la presencia de las inclusiones de tierras raras. Los metales de las tierras raras incluyendo cerio, lantano, itrio, etc. están restringidos de manera que las cantidades combinadas de tales elementos no sean de más de aproximadamente el 0,001%. Preferiblemente, la aleación no contiene más de aproximadamente el 0,0008%, y mejor aún no más del 0,0007% de tales elementos.

Se habría esperado que la eliminación del tratamiento con tierras raras afectase adversamente a la tenacidad a la fractura de la aleación, especialmente en grandes tamaños en sección. Sin embargo, se ha encontrado que el uso del tratamiento con calcio en vez del tratamiento con tierras raras no sólo beneficia la resistencia a la fatiga de la aleación, sino que no afecta adversamente a la combinación de tenacidad y tenacidad a la fractura proporcionada por esta aleación. Por tanto, se cree que la aleación realizada según la presente invención proporciona resistencia y tenacidad equivalentes a las aleaciones conocidas.

Pueden estar presentes elementos adicionales tales como boro, aluminio, niobio, manganeso y silicio en cantidades controladas para beneficiar otras propiedades deseables proporcionadas por esta aleación. Más específicamente, puede estar presente hasta aproximadamente el 0,010% de boro, mejor aún hasta aproximadamente el 0,005% de boro, y preferiblemente hasta aproximadamente el 0,0035% de boro en la aleación para beneficiar la trabajabilidad en caliente de la aleación. Para proporcionar el efecto deseado, está presente al menos aproximadamente el 0,001% y preferiblemente al menos aproximadamente el 0,0015% de boro en la aleación.

Pueden estar presentes aluminio y/o niobio en la aleación para beneficiar el límite de elasticidad y la resistencia a la rotura por tracción. Más particularmente, puede estar presente hasta aproximadamente el 0,25%, mejor aún hasta aproximadamente el 0,10%, todavía mejor hasta aproximadamente el 0,050%, y preferiblemente hasta aproximadamente el 0,025% de aluminio en la aleación. Además, puede estar presente hasta aproximadamente el 0,3%, mejor aún hasta aproximadamente el 0,10%, todavía mejor hasta aproximadamente el 0,050%, y preferiblemente hasta aproximadamente el 0,025% de niobio en la aleación. Aunque pueden obtenerse un límite de elasticidad y una resistencia a la rotura por tracción mayores cuando están presentes aluminio y/o niobio en esta aleación, se desarrolla una resistencia aumentada a expensas de la tenacidad a la entalla. Por tanto, cuando se desea una tenacidad a la entalla óptima, el aluminio y el niobio están restringidos a los niveles residuales habituales.

Pueden estar presentes hasta aproximadamente el 1,0%, mejor aún hasta aproximadamente el 0,5%, todavía mejor hasta aproximadamente el 0,25%, y preferiblemente hasta aproximadamente el 0,10% de manganeso y/o hasta aproximadamente el 0,75%, mejor aún hasta aproximadamente el 0,5%, todavía mejor hasta aproximadamente el 0,25%, y preferiblemente hasta aproximadamente el 0,10% de silicio en la aleación como residuos de fuentes de chatarra o adiciones desoxidantes. Tales adiciones son beneficiosas cuando la aleación no se funde a vacío. El manganeso y/o el silicio se mantienen preferiblemente a bajos niveles debido a sus efectos perjudiciales sobre la tenacidad, resistencia a la corrosión y el equilibrio de fases de austenita-martensita en el material de matriz.

El resto de la aleación es hierro aparte de las impurezas habituales que se encuentran en calidades comerciales de aleaciones destinadas para un uso o servicio similar. Se controlan los niveles de tales elementos de modo que no afecten adversamente a las propiedades deseadas.

En particular, demasiado carbono y/o nitrógeno alteran la resistencia a la corrosión y afectan de manera perjudicial a la tenacidad y la resistencia a la fatiga proporcionadas por esta aleación. Por consiguiente, está presente no más de aproximadamente el 0,03%, mejor aún no más de aproximadamente el 0,02%, y preferiblemente no más de aproximadamente el 0,015% de carbono en la aleación. Además, está presente no más de aproximadamente el 0,030%, mejor aún no más de aproximadamente el 0,015%, y preferiblemente no más de aproximadamente el 0,010% de nitrógeno en la aleación. Cuando están presentes carbono y/o nitrógeno en mayores cantidades, el carbono y/o el nitrógeno se combina con titanio para formar inclusiones no metálicas ricas en titanio, tales como carbonitruros de titanio. Esa reacción inhibe la formación de la fase rica en níquel-titanio que es un factor principal en la alta resistencia proporcionada por esta aleación. Además, tales carbonitruros sirven como sitios de iniciación de fisuración y afectan adversamente a la tenacidad a la fractura y la resistencia a la fatiga proporcionadas por la aleación.

El fósforo se mantiene en un nivel bajo debido a su efecto perjudicial sobre la tenacidad y la resistencia a la

corrosión. Por consiguiente, está presente no más de aproximadamente el 0,040%, mejor aún no más de aproximadamente el 0,015%, y preferiblemente no más de aproximadamente el 0,010% de fósforo en la aleación.

Está presente no más de aproximadamente el 0,020%, mejor aún no más de aproximadamente el 0,010%, y preferiblemente no más de aproximadamente el 0,005% de azufre en la aleación. Mayores cantidades de azufre promueven la formación de inclusiones no metálicas ricas en titanio que, como el carbono y el nitrógeno, inhiben el efecto de reforzamiento deseado del titanio y sirven como sitios de iniciación de fisuración que afectan adversamente a la tenacidad a la fractura y la resistencia a la fatiga proporcionadas por la aleación. Además, mayores cantidades de azufre afectan de manera perjudicial a la trabajabilidad en caliente y la resistencia a la corrosión de esta aleación y altera su tenacidad, particularmente en una dirección transversal. El oxígeno está limitado a no más de aproximadamente 25 partes por millón (ppm). Los elementos traza tales como plomo, bismuto, antimonio, arsénico, telurio, selenio, estaño, germanio y galio están limitados a aproximadamente el 0,003% como máx. de cada uno, mejor aún a no más de aproximadamente el 0,002% de cada uno, y preferiblemente a no más de aproximadamente el 0,001% de cada uno.

Demasiado cobre afecta de manera perjudicial a la tenacidad a la entalla, ductilidad y resistencia de esta aleación. Por tanto, la aleación contiene no más de aproximadamente el 0,95%, mejor aún no más de aproximadamente el 0,75%, todavía mejor, no más de aproximadamente el 0,50%, y preferiblemente no más de aproximadamente el 0,25% de cobre.

El método según la presente invención se lleva a cabo preferiblemente mediante fusión por inducción a vacío (VIM, *vacuum induction melting*) de los elementos constituyentes descritos anteriormente. Preferiblemente, la VIM va seguida de refusión por arco a vacío (VAR, *vacuum arc remelting*) pero pueden usarse otras prácticas. El método preferido para proporcionar calcio en esta aleación es a través de la adición de un compuesto de níquel-calcio durante la VIM. El compuesto de níquel-calcio, tal como la aleación Ni-Cal® vendida por Chemalloy Co. Inc., se añade en una cantidad eficaz para combinarse con el fósforo, azufre y oxígeno disponibles. También pueden usarse otras técnicas para añadir calcio. Por ejemplo, pueden añadirse cápsulas de calcio elemental o aleaciones madre de calcio a la masa fundida. Se cree que también puede usarse una escoria que contiene calcio o un compuesto de calcio. Las reacciones químicas dan como resultado la formación de inclusiones de fase secundaria tales como sulfuros de calcio, óxidos de calcio y oxisulfuros de calcio que pueden eliminarse fácilmente durante la fusión primaria o secundaria. Se cree que cualquier inclusión residual basada en calcio está dispersa de manera escasa en el material de matriz de la aleación tras la solidificación. Se espera que tras la VAR, la aleación contenga menos de aproximadamente el 0,001% de calcio y no más de aproximadamente el 0,001% de azufre. Las inclusiones son generalmente más pequeñas en el tamaño en sección transversal principal que las inclusiones basadas en tierras raras y las inclusiones no metálicas ricas en Ti que están presentes en las aleaciones conocidas. También se cree que la distribución de tamaño de las inclusiones basadas en calcio es de aproximadamente 0,5 μm a aproximadamente 3,00 μm en la dimensión en sección transversal principal, cuando están presentes tales inclusiones. El tamaño muy pequeño y la dispersión escasa de inclusiones basadas en Ca beneficia la resistencia, tenacidad y resistencia a la fatiga proporcionadas por la aleación.

Esta aleación puede prepararse utilizando técnicas de pulvimetalurgia, si se desea. Aunque la aleación de la presente invención puede trabajarse en caliente o en frío, el trabajo en frío potencia la resistencia mecánica de la aleación.

La aleación de endurecimiento por precipitación preparada en la presente invención se somete a recocido por solubilización y entonces se endurece por envejecimiento para desarrollar las altas resistencia y dureza. La temperatura de recocido por solubilización debe ser lo suficientemente alta como para disolver esencialmente todos los precipitados no deseados en el material de matriz de la aleación. Sin embargo, si la temperatura de recocido por solubilización es demasiado alta, alterará la tenacidad a la fractura de la aleación promoviendo un crecimiento de grano excesivo. Normalmente, la aleación de la presente invención se somete a recocido por solubilización a aproximadamente 1700°F-1900°F (927°C-1038°C) durante aproximadamente 1 hora y entonces se templea.

Cuando se desea, esta aleación también puede someterse a un tratamiento de enfriamiento profundo tras templarse, para desarrollar adicionalmente la alta resistencia de la aleación. El tratamiento de enfriamiento profundo enfría la aleación hasta una temperatura suficientemente por debajo de la temperatura de finalización de formación de martensita para garantizar que se complete la transformación martensítica. Normalmente, un tratamiento de enfriamiento profundo consiste en enfriar la aleación hasta por debajo de aproximadamente -100°F (-73°C) durante aproximadamente de 1 a 8 horas. Se verá afectada la necesidad de un tratamiento de enfriamiento profundo, al menos en parte, por la temperatura de finalización de formación de martensita (M_F) de la aleación. Si la temperatura M_F es suficientemente alta, la transformación en una estructura martensítica avanzará sin necesidad de un tratamiento de enfriamiento profundo. Además, la necesidad de un tratamiento de enfriamiento profundo también puede depender del tamaño en sección transversal de la pieza que esté fabricándose. A medida que aumenta el tamaño de la pieza, la segregación en la aleación se vuelve más significativa y el uso de un tratamiento de enfriamiento profundo se vuelve más beneficioso. Además, puede ser necesario tener que aumentar la duración de tiempo en que se enfría la pieza para piezas grandes para garantizar que se completa la transformación en

martensita. Por ejemplo, se ha encontrado que en una pieza que tiene un gran área de la sección transversal tal como se describió anteriormente, se prefiere un tratamiento de enfriamiento profundo que dura aproximadamente 8 horas para desarrollar la alta resistencia que es característica de esta aleación.

5 La aleación preparada en la presente invención se endurece por envejecimiento según técnicas usadas para las aleaciones de acero inoxidable, de endurecimiento por precipitación conocidas, tal como conocen los expertos en la técnica. Por ejemplo, las aleaciones se envejecen a una temperatura de entre aproximadamente 900°F (482°C) y aproximadamente 1150°F (621°C) durante aproximadamente de 4 a 8 horas. Las condiciones de envejecimiento específicas usadas se seleccionan considerando que: (1) la resistencia a la rotura por tracción de la aleación disminuye a medida que aumenta la temperatura de envejecimiento; y (2) el tiempo requerido para endurecer por
10 envejecimiento la aleación hasta un nivel de resistencia deseado aumenta a medida que disminuye la temperatura de envejecimiento.

REIVINDICACIONES

1. Método de preparación de una aleación de acero inoxidable endurecible por precipitación, de alta resistencia y alta tenacidad que comprende las etapas de:

5 fundir una aleación de acero martensítico que tiene la siguiente composición en tanto por ciento en peso, aproximadamente

carbono	0,03 como máx.
manganeso	1,0 como máx.
silicio	0,75 como máx.
fósforo	0,040 como máx.
azufre	0,020 como máx.
cromo	10-13
níquel	10,5-11,6
titanio	1,5-1,8
molibdeno	0,25-1,5
cobre	0,95 como máx.
aluminio	0,25 como máx.
niobio	0,3 como máx.
boro	0,010 como máx.
nitrógeno	0,030 como máx.

y siendo el resto hierro e impurezas habituales;

añadir calcio a la aleación mientras está en estado fundido mediante lo cual el calcio se combina con el azufre y el oxígeno disponibles para formar inclusiones basadas en calcio seleccionadas del grupo que consiste en sulfuros de calcio, óxidos de calcio, oxisulfuros de calcio, y combinaciones de los mismos;

10 procesar dicha aleación para eliminar al menos una parte de dichas inclusiones basadas en calcio; y entonces

solidificar dicha aleación;

mediante lo cual no se usan adiciones de metales de las tierras raras en la aleación, y tras dichas etapas de procesamiento y solidificación dicha aleación no contiene sustancialmente inclusiones basadas en tierras raras y cualquier inclusión residual basada en calcio está dispersa de manera escasa en la aleación.

15 2. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de fusión comprende fusión a vacío de la aleación de acero martensítico y la etapa de adición se realiza durante dicha fusión a vacío.

3. Método según la reivindicación 2, en el que la etapa de procesamiento comprende refundir a vacío la aleación.

4. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de procesamiento comprende refundir a vacío la aleación.

20 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la etapa de fusión comprende fundir una aleación de acero martensítico que tiene la siguiente composición en tanto por ciento en peso, aproximadamente

ES 2 401 753 T3

carbono	0,02 como máx.
manganeso	0,25 como máx.
silicio	0,25 como máx.
fósforo	0,015 como máx.
azufre	0,010 como máx.
cromo	10,5-12,5
níquel	10,75-11,25
titanio	1,5-1,7
molibdeno	0,75-1,25
cobre	0,50 como máx.
aluminio	0,050 como máx.
niobio	0,050 como máx.
boro	0,001-0,005
nitrógeno	0,015 como máx.

y siendo el resto hierro e impurezas habituales.

6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la etapa de fusión comprende fundir una aleación de acero martensítico que tiene la siguiente composición en tanto por ciento en peso, aproximadamente

carbono	0,015 como máx.
manganeso	0,10 como máx.
silicio	0,10 como máx.
fósforo	0,010 como máx.
azufre	0,005 como máx.
cromo	11,0-12,0
níquel	10,85-11,25
titanio	1,5-1,7
molibdeno	0,9-1,1
cobre	0,25 como máx.
aluminio	0,025 como máx.
niobio	0,025 como máx.
boro	0,0015-0,0035
nitrógeno	0,010 como máx.

y siendo el resto hierro e impurezas habituales.