

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 021 908**

51 Int. Cl.:

B22D 11/00 (2006.01)
C22C 38/12 (2006.01)
C22C 38/14 (2006.01)
C22C 38/32 (2006.01)
C21C 7/00 (2006.01)
C21C 7/04 (2006.01)
C21C 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.07.2021 PCT/IB2021/056078**
87 Fecha y número de publicación internacional: **13.01.2022 WO22009108**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2021 E 21737180 (6)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2025 EP 4178743**

54 Título: **Procedimiento para la colada de un semiproducto de acero con alto contenido de titanio**

30 Prioridad:

08.07.2020 WO PCT/IB2020/056418

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
27.05.2025

73 Titular/es:

ARCELORMITTAL (100.00%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU

72 Inventor/es:

BONNET, FRÉDÉRIC;
DAESCHLER, VALERIE y
MASTRORILLO, THIERRY

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 3 021 908 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

Procedimiento para la colada de un semiproducto de acero con alto contenido de titanio

5 La invención se refiere a la colada de semiproductos de acero con un alto contenido de titanio.

Los aceros FeTiB₂ han atraído mucha atención debido a su excelente módulo elástico E, baja densidad y alta resistencia a la tracción, lo que los hace muy prometedores para la industria automotriz, donde el aligeramiento y la seguridad de los vehículos son preocupaciones constantes. Sin embargo, estos aceros son difíciles de fabricar debido a las limitaciones relacionadas con los precipitados que se forman. Por lo tanto, se han desarrollado diferentes soluciones para producir estos aceros y, en particular, para resolver los problemas de colabilidad.

El documento US20130174942 describe un acero FeTiB₂ que comprende entre un 2,5 % y un 7,2 % en peso de Ti, que se funde a una temperatura de colada que no supera en más de 40 °C la temperatura liquidus de dicho acero. Esto le permite obtener una microestructura fina.

El documento EP3612657 describe una composición específica del acero, en la que el contenido de Ti libre del acero es de al menos el 0,95 %, y debido a este contenido en Ti libre, la estructura del acero permanece principalmente ferrítica a cualquier temperatura inferior a la temperatura liquidus. Como resultado, la dureza en caliente del acero se reduce significativamente en comparación con los aceros del estado de la técnica, de manera que aumenta la colabilidad. La colada se realiza preferiblemente en forma de láminas delgadas.

Sin embargo, sea cual sea el tipo de procedimiento de colada, se requiere que el acero líquido llegue a la estación de sangrado ("tapping") con la composición, temperatura y viscosidad correctas. Para estos grados específicos, esta etapa es una de las más difíciles de manipular. Durante la fabricación del acero, dependiendo de la composición y la temperatura de la escoria, algunos componentes pueden precipitar. En el caso de los grados con alto contenido en titanio, el titanio tiende a separarse y migrar hacia la escoria, y como los óxidos de titanio tienden a precipitar a la temperatura de colada, las tasas de cristalización de la escoria aumentan drásticamente. Una buena tasa de cristalización para una acería se da cuando se pueden tomar muestras de metal fundido, mientras que al mismo tiempo, dicha escoria aún cubre el metal fundido para evitar el contacto con el aire.

Existe pues una necesidad de un procedimiento de colada que permita la colada de semiproductos de acero que tengan un alto contenido en titanio, es decir superior al 3,5% en peso.

35 El alcance de la presente invención está definido por la reivindicación independiente 1, y realizaciones adicionales de la invención se especifican en las reivindicaciones dependientes 2 a 13.

Una realización también se refiere a una escoria en la fabricación de acero que tiene la siguiente composición, expresada en contenido en peso:

40
$$35\% \leq \text{CaO} \leq 55\%,$$

$$15\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 55\%,$$

a la vez que se satisface $0,7 \leq \text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 2,$

$$0\% \leq \text{MgO} \leq 15\%,$$

$$\text{TiO}_x < 20\%$$

45 menos del 1% de cada uno de los siguientes compuestos B₂O₃, SiO₂, CrO_x, MnO, NiO, FeO_x, S, $0\% \leq \text{CaF}_2 \leq 25\%$, siendo el resto óxidos resultantes de las impurezas presentes en el metal fundido.

En una realización del procedimiento según la invención, el acero líquido (también llamado metal fundido), que puede provenir de un horno de arco eléctrico o de cualquier dispositivo de fabricación de acero, tal como un horno de oxígeno básico o un convertidor, se somete a una etapa de desoxidación. En esta etapa, el acero líquido tiene normalmente una temperatura de alrededor de 1650 °C. Para llevar a cabo la desoxidación, se añade aluminio al metal fundido, generalmente durante el sangrado de la cuchara de fundición, para promover una reacción de desoxidación homogénea. Según la invención, se añade aluminio de manera que la cantidad en el metal fundido sea igual o superior al 0,1 % en peso, que es superior a la cantidad habitual requerida para la desoxidación del acero líquido. En una realización preferida, se añade aluminio de manera que la cantidad en el metal fundido sea igual o superior al 0,2 % en peso. En una realización preferida, es igual o superior al 0,4 % en peso. Los óxidos así formados migran hacia la parte superior del metal fundido y aumentan la cantidad de escoria. La cantidad de aluminio a añadir depende de la cantidad aceptable de óxidos de titanio en la escoria para limitar la cristalización de la escoria y de los parámetros que controlan la partición del titanio, tal como la composición del metal fundido, la composición de la escoria y la temperatura. Entre estos parámetros, los parámetros principales son el contenido de titanio en el metal fundido, los elementos de aleación en el metal fundido, tal como el boro, el manganeso y el cromo,... que pueden modificar el

equilibrio escoria/metal, la temperatura respectiva del metal fundido y la escoria, la proporción de peso de la escoria/peso del metal fundido y la composición de la escoria. Se deben evitar otros óxidos de escoria reducibles por titanio, tales como el SiO_2 y el B_2O_3 , para limitar la partición del titanio. Los cálculos del equilibrio termodinámico escoria/metal se pueden realizar cuando se dispone de modelos y bases de datos termodinámicos.

Se consiguen cálculos termodinámicos para optimizar tanto la cantidad de aluminio a añadir como la composición de la escoria, basándose en el objetivo final de TiO_x en la escoria, la composición del metal fundido y la temperatura durante el proceso de refinación. En cada etapa del proceso de refinación del grado, se optimiza el contenido de aluminio en el metal fundido y la composición de la escoria para limitar la partición del titanio y garantizar el objetivo de TiO_x y limitar la cristalización de la escoria.

Para definir las condiciones óptimas, se calcula la evolución del TiO_x y la fracción cristalizada en la escoria en función de la variabilidad de la temperatura y las composiciones del metal fundido y la escoria. Todos estos cálculos son bien conocidos por los expertos en la industria siderúrgica. Si no se dispone de modelo ni base de datos, se puede realizar un equilibrio escoria/metal a escala de laboratorio o piloto para simular las condiciones industriales.

La adición de aluminio permite desoxidar el acero fundido, pero también reducir el contenido de TiO_x en la escoria. Una parte de la cristalización de la escoria se produce mediante la precipitación de titanatos, siendo los titanatos compuestos de óxido de titanio combinado con otros óxidos, tales como un óxido de aluminio. Al reducir el contenido de TiO_x en la escoria, se limita la precipitación de titanatos, lo que conduce a una menor fracción de cristales. La naturaleza y la tasa de cristalización de los titanatos pueden ser más o menos complejas dependiendo de la composición de la escoria.

A continuación, según el procedimiento de la invención, se añaden al metal fundido compuestos minerales que contienen aluminio y/o calcio y/o magnesio, tal como cal (Ca(OH)_2) o magnesia (MgO), y hasta un 25 % en peso de espato (CaF_2). Según la invención, estas adiciones se realizan para alcanzar y mantener una composición de la escoria, en la que la proporción de $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3$ (C/A) está comprendida entre 0,7 y 2. Esta composición permite limitar la tasa de cristalización de los óxidos de titanio presentes en la escoria al maximizar la capacidad de azufre en la escoria.

La limitación de TiO_x gracias a la adición de aluminio debe de hecho estar asociada a la optimización de la composición de la escoria para optimizar la naturaleza y la cantidad de titanatos y limitar su precipitación en la escoria para promover una baja cristalización de la escoria a la temperatura de colada.

En una realización preferida, cuando la proporción está comprendida entre 1,4 y 2, la escoria contiene además entre un 6 y un 25 % en peso de espato CaF_2 y más preferentemente entre un 6 y un 12 % en peso de espato CaF_2 . El cálculo y el control de esta proporción son bien conocidos por los expertos en la materia de la fabricación de aceros. En otra realización, la proporción C/A está comprendida entre 0,9 y 1,3, y la escoria comprende entre un 5 y un 15 % en peso de magnesia. En una tercera realización, esta proporción está comprendida entre 1,4 y 2, y la escoria contiene entre un 6 y un 12 % en peso de espato CaF_2 y entre un 5 y un 15 % en peso de magnesia MgO . La magnesia permite reducir la temperatura liquidus de la escoria. Esta última composición permite limitar aún más la tasa de cristalización de los óxidos de titanio. La magnesia puede añadirse a la masa fundida y/o provenir directamente de los refractarios que rodean el metal fundido en el recipiente de fabricación de acero. El experto en la materia sabe por experiencia qué cantidad de magnesia se disolverá de los refractarios y qué cantidad debe añadirse para alcanzar el contenido requerido.

Gracias a este control de la composición de la escoria y a la adición de aluminio, la escoria contiene estrictamente menos del 20 % en peso de óxidos de titanio. En todas las realizaciones, el resto de la composición de la escoria comprende menos del 1 % en peso de B_2O_3 , menos del 1 % en peso de SiO_2 , menos del 1 % en peso de CrO_x , menos del 1 % en peso de MnO , menos del 1 % en peso de NiO y menos del 1 % en peso de FeO_x . Con el procedimiento de la invención no es necesario desescoriar antes de la siguiente etapa, lo que reduce el tiempo de elaboración del acero.

Tras la etapa de adición de minerales, se añade titanio a la masa fundida en tal cantidad que alcanza la composición objetivo del semiproducto final, que es al menos superior o igual al 3,5 % en peso. Esta es la composición nominal. Este titanio puede añadirse en forma de titanio esponjoso o piezas de ferrotitanio, tales como Fe-70 %Ti o Fe-35 %Ti, o en alambres de Ti puro o ferrotitanio.

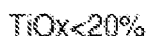
Después de la adición de titanio, la escoria tiene la siguiente composición:

$$35\% \leq \text{CaO} \leq 55\%,$$

$$15\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 55\%,$$

a la vez que se satisface $0,7 \leq \text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 2$,

$$0\% \leq \text{MgO} \leq 15\%.$$



menos del 1% de cada uno de los siguientes compuestos B_2O_3 , SiO_2 , CrOx , MnO , NiO , FeOx , S,

5 $0\% \leq \text{CaF}_2 \leq 25\%$,

siendo el resto óxidos resultantes de las impurezas presentes en el metal fundido.

10 A continuación, el acero líquido así formado se envía a la estación de colada para su colada en forma de semiproducto. La temperatura de colada es inferior o igual a $T_{\text{liquidus}} + 40\text{ }^\circ\text{C}$, siendo T_{liquidus} la temperatura liquidus del acero. En este caso, es, por ejemplo, de alrededor de $1330\text{ }^\circ\text{C}$. Por semiproducto se entiende una lámina de acero, una banda gruesa o una lámina delgada, o cualquier otro producto fabricado mediante colada continua, colada vertical, colada horizontal, colada por laminación, colada de lámina delgada, colada en lecho o colada de banda.

15 En otra realización de un procedimiento según la presente divulgación, el semiproducto a colar contiene al menos un 2 % de boro, el cual se añade después de la etapa de adición de minerales mediante la inyección de piezas de ferrobورو, tal como Fe-18 %B o alambres de ferrobورو. En una realización más preferida, esta adición se realiza durante la etapa de adición de minerales.

20 En una realización preferida el semiproducto de acero tiene la siguiente composición expresada en contenido en peso:

$0,01\% \leq \text{C} \leq 0,2\%$

$3,5\% \leq \text{Ti} \leq 10\%$

$(0,45 \times \text{Ti}) - 1,35\% \leq \text{B} \leq (0,45 \times \text{Ti}) + 0,70\%$

$\text{S} \leq 0,03\%$

25 $\text{P} \leq 0,04\%$

$\text{N} \leq 0,05\%$

$\text{O} \leq 0,05\%$

y que contiene opcionalmente:

$\text{Si} \leq 1,5\%$

30 $\text{Mn} \leq 3\%$

$\text{Al} \leq 1,5\%$

$\text{Ni} \leq 1\%$

$\text{Mo} \leq 1\%$

$\text{Cr} \leq 3\%$

35 $\text{Cu} \leq 1\%$

$\text{Nb} \leq 0,1\%$

$\text{V} \leq 0,5\%$

y que comprende precipitados de TiB_2 y opcionalmente de Fe_2B , siendo el resto Fe e impurezas inevitables resultantes de la elaboración. Esta composición preferida permite que el acero permanezca principalmente ferrítico a cualquier temperatura inferior a la temperatura liquidus y reduce así los problemas de colabilidad.

Una forma para que el fabricante de acero pueda implementar el procedimiento según la invención es, en primer lugar, definir el objetivo de titanio en el semiproducto final y la temperatura de colada de este semiproducto final. A continuación, para definir qué composición de escoria se desea obtener dentro del marco de la invención, es decir, que permanece en el intervalo determinado de la proporción C/A, añadir potencialmente espato, la cantidad de MgO aportada por los refractarios, etc., en función del volumen de cristalización que pueda tolerar en la colada. Finalmente, calcular, utilizando modelos conocidos, la cantidad de aluminio y otros minerales añadidos necesarios para alcanzar esta composición de escoria definida.

50 A partir de todas las realizaciones mencionadas anteriormente, las diferentes etapas realizadas sobre el acero líquido pueden llevarse a cabo indistintamente en los mismos recipientes o en recipientes diferentes, según la configuración de la planta. No se requieren equipos específicos aparte de los que se utilizan habitualmente en una acería.

Ejemplos

55 Los siguientes ensayos que se presentan a continuación no son limitativos y deben considerarse únicamente con fines ilustrativos. Estos ilustrarán las características ventajosas de la presente invención. Cabe destacar que las realizaciones de la presente divulgación tienen como propósito explicar la presente divulgación y no limitar la presente invención. El alcance de la presente invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

Cálculo

Los cálculos se realizaron utilizando modelos termodinámicos, como se describió previamente, y que son conocidos por el experto en la materia. La temperatura considerada de la escoria fue de $1350\text{ }^\circ\text{C}$.

ES 3 021 908 T3

Los parámetros considerados son la cantidad de titanio en el semiproducto a colar (%Ti), la proporción C/A con %CaO y %Al₂O₃ en la escoria, la cantidad de CaF₂ (o espato) en la escoria y una cantidad máxima objetivo de TiOx en la escoria. El cálculo se realizó considerando 15 kg de escoria por tonelada de metal caliente.

- 5 El contenido de magnesia MgO en la escoria se consideró siempre en 10 % en peso.

Los cálculos se realizaron considerando 15 kg de escoria por tonelada de metal caliente.

- 10 Dadas todas estas condiciones, se calculó un porcentaje de cristalización de la escoria que representa el porcentaje en volumen de la fase sólida sobre el volumen total de escoria. El cálculo termodinámico proporciona la naturaleza y la cantidad de óxidos que precipitan en la escoria líquida, conociendo el volumen de escoria líquida, es posible así determinar el porcentaje en volumen de escoria cristalizada.

- Adición de aluminio

- 15 En este conjunto de ejemplos, el objetivo de titanio en el producto final se varió entre 2,5 y 10%. La proporción C/A se estableció en 1,1, no se añadió CaF₂.

- 20 Todos los parámetros y resultados se resumen en la tabla 1 a continuación, los números de ensayos con un asterisco * no corresponden a la invención.

Tabla 1

N°	% de Ti	C/A	% de Al	% de TiOx
1*	2,5	1,1	0,14	5%
2*	2,5	1,1	0	14,8
3	3,5	1,1	0,23	5%
4*	3,5	1,1	<u>0</u>	20
5	4	1,1	0,27	5%
6*	4	1,1	<u>0</u>	21,7
7	5	1,1	0,34	5%
8*	5	1,1	<u>0</u>	26,9
9	8	1,1	0,61	5%
10*	8	1,1	<u>0</u>	43,8
11	10	1,1	0,85	5%
12*	10	1,1	<u>0</u>	50,6

De este conjunto de ensayos, cuando el objetivo de titanio en el producto final es superior o igual a 3,5%, es necesaria la adición de aluminio para reducir la cantidad de TiOx en la escoria y evitar así la cristalización de la escoria.

50 - Proporción C/A

En este conjunto de ejemplos, el objetivo de titanio en el producto final fue igual a 8 o 10. La proporción C/A se varió de 0,5 a 2,3, no se añadió CaF₂.

- 55 La cantidad de aluminio añadido se establece en 0,4%.

- 60 Todos los parámetros y resultados se resumen en la tabla 2 a continuación. Los números de ensayos marcados con un asterisco * no corresponden a la invención. Tal como se explicó previamente, la cantidad aceptable de la tasa de cristalización depende del proceso, pero una tasa de cristalización aceptable para una acería se da cuando la escoria cubre la superficie del metal fundido, permitiendo al mismo tiempo el muestreo en el metal fundido.

Tabla 2

N°	% de Ti	C/A	% de Al	% de cristalización
20*	8	<u>0,5</u>	0,4	48,7

ES 3 021 908 T3

21	8	0,7	0,4	3,8
22	8	1,1	0,4	1,7
23	8	1,6	0,4	4,9
24	8	2	0,4	16,7
25*	8	<u>2,3</u>	0,4	24,0
26*	10	<u>0,5</u>	0,4	37,4
27	10	0,7	0,4	1,5
28	10	1,1	0,4	1,7
29	10	1,6	0,4	4,1
30	10	2	0,4	15,2
31 *	10	<u>2,3</u>	0,4	23,2

A partir de este conjunto de ensayos, la adición de compuestos minerales para obtener una composición de escoria dentro del intervalo de C/A de la invención permite reducir la tasa de cristalización de la escoria.

5 - Influencia del CaF₂ en la adición de aluminio

En este conjunto de ejemplos, el objetivo de titanio en el producto final se estableció en 8%.

La proporción C/A se estableció en 1,1 y el contenido de espato (CaF₂) se varió de 0 a 20 % en peso.

El contenido de aluminio se calculó para alcanzar un contenido de óxidos de titanio en la escoria igual al 5%.

Todos los parámetros y resultados se resumen en la tabla 3 a continuación.

Tabla 3

N°	% de Ti	C/A	% de CaF ₂	% de Al	% de TiOx
40	8	1,1	0	0,61	5
41	8	1,1	5	0,55	5
42	8	1,1	10	0,48	5
43	8	1,1	15	0,4	5
44	8	1,1	20	0,33	5

La adición de CaF₂ permite reducir la cantidad de aluminio necesaria para reducir el contenido de TiOx en la escoria y así limitar la cristalización.

- Influencia del CaF₂ en la tasa de cristalización

En este conjunto de ejemplos, el objetivo de titanio en el producto final se fijó en 8%.

La proporción C/A se varió de 1,1 a 2 y el contenido de espato (CaF₂) fue de 0 o 12 % en peso. El contenido de aluminio se fijó en 0,4 %.

Todos los parámetros y resultados se resumen en la tabla 4 a continuación.

Tabla 4

N°	% de Ti	C/A	% de CaF ₂	% de Al	% de cristalización
52	8	1,1	0	0,4	1,7
53	8	1,1	12	0,4	0,0
54	8	1,6	0	0,4	4,9
55	8	1,6	12	0,4	0

56	8	2	0	0,4	16,4
57	8	2	12	0,4	8,7

La adición de espato CaF_2 permite limitar adicionalmente la tasa de cristalización de la escoria.

Ensayos piloto

- 5 Se realizaron ensayos piloto para reproducir el comportamiento del acero a pequeña escala. El metal fundido, cuya composición inicial se indica en la tabla 5, se vertió en un crisol de magnesia colocado en un horno en condiciones dadas de temperatura y atmósfera. La presencia de argón y, por lo tanto, de una atmósfera no oxidante, está ligada a la configuración del piloto y no es necesaria en condiciones industriales. A continuación, se añadieron bolas de escoria,
- 10 cuya composición se indica en la tabla 5, sobre el metal fundido. Los resultados con respecto a la cristalización también se muestran en la tabla 5. El ensayo A608 se realizó con un procedimiento que no corresponde a la invención, mientras que los otros cinco ensayos sí son de acuerdo a la invención. Para este ensayo, se añadió al acero un valor estándar de aluminio para la desoxidación, no más que en el procedimiento según la invención.
- 15 El ensayo A608 es el único que presenta cristalización de escoria a la temperatura de colada, lo que impide la posterior colada del acero. El procedimiento de la invención permite así evitar la cristalización de la escoria a la temperatura de colada requerida.
- 20 Además, con un procedimiento se evita la partición del titanio y, por lo tanto, se necesita una menor adición de titanio para alcanzar la composición objetivo.

Tabla 5

N.º de ensayo	% de Al añadido	Condiciones	Composición de escoria						Acero			
			C/A	CaF ₂	MgO	B ₂ O ₃	TiO ₂	Cristalización de escoria	B		Ti	
									Inicial	Final	Inicial	Final
A608*	0,04%	1390°C Ar-1atm	1,6	-	3,4	-	<u>29,5</u>	<u>Sí</u>	1,95	2,05	5,83	3,49
A598	0,4%	1425°C Ar-1atm	1	-	8,5	0,35	7,7	NO	1,92	1,91	5,96	5,85
A596	0,4%	1450°C Ar-1atm	1,1	-	7,3	0,26	4,65	NO	1,76	1,75	5,86	5,78
A602	0,4%	1360°C Ar-1atm	1,1	-	7,1	0,4	4,2	NO	1,95	1,98	5,85	5,62
A601	0,4%	1380°C Ar-1atm	0,7	7,4	23,4	0,9	4,9	NO	1,95	2,01	5,83	5,52
A610	0,6%	1530°C Ar-0,25atm	0,7	5-6,5	4,7-12,6	-	0-20	NO	1,95	2,04	5,83	6,08
												+4,3%

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la colada un semiproducto de acero a partir de un acero líquido, teniendo dicho semiproducto de acero una composición objetivo en titanio de al menos un 3,5 % en peso, comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas:
A/ adición de aluminio al acero líquido para que el acero líquido contenga al menos un 0,1 % en peso de aluminio,
B/ adición al acero líquido de compuestos minerales que contienen CaF_2 y aluminio y calcio y opcionalmente magnesio, para alcanzar y mantener una composición de escoria, en la que la proporción de CaO frente a Al_2O_3 ($\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) está comprendida de 0,7 a 2 y la escoria contiene hasta un 25 % en peso de CaF_2 ,
C/ adición de titanio al acero líquido para alcanzar la composición objetivo,
D/ colada del acero en forma de semiproducto.
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la cantidad de aluminio añadida es tal que el acero líquido contiene más del 0,2% en peso de aluminio.
3. Procedimiento, según la reivindicación 2, en el que la cantidad de aluminio añadida es tal que el acero líquido contiene más del 0,4% en peso de aluminio.
4. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el semiproducto de acero contiene boro en un porcentaje mínimo en peso que cumple la siguiente ecuación:
$$\%B \geq 0,45 \times \%Ti - 1,35\%$$
5. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que entre las etapas A y B se realiza una etapa de calentamiento del acero líquido.
6. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que se realiza una etapa de adición de boro después de la etapa C.
7. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que se realiza una adición de boro durante la etapa B.
8. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que durante la etapa B se añade espato CaF_2 para alcanzar una composición en CaF_2 comprendida entre el 6 y el 15 % en peso de la escoria.
9. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que durante la etapa B se añade magnesia para alcanzar una composición en MgO comprendida entre el 5 y el 15% en peso en la escoria.
10. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que durante la etapa B se realiza la adición de compuestos minerales para alcanzar una composición de escoria, en la que la proporción de CaO frente a Al_2O_3 ($\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) está comprendida entre 0,9 y 1,3.
11. Procedimiento, según las reivindicaciones 1 a 7, en el que durante la etapa B se realiza la adición de compuestos minerales para alcanzar una composición de escoria, en la que la proporción de CaO frente a Al_2O_3 ($\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) está comprendida entre 1,4 y 2, comprendiendo la escoria además entre un 6 y 12 % en peso de CaF_2 .
12. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el semiproducto de acero tiene una composición objetivo en titanio de al menos el 5,8% en peso.
13. Procedimiento, según las reivindicaciones 1 a 11, en el que el semiproducto de acero tiene la siguiente composición expresada en contenido en peso:
$$0,01 \% \leq C \leq 0,2 \%$$
$$3,5 \% \leq Ti \leq 10 \%$$
$$(0,45 \times Ti) - 1,35 \% \leq B \leq (0,45 \times Ti) + 0,70 \%$$
$$S \leq 0,03 \%$$
$$P \leq 0,04 \%$$
$$N \leq 0,05 \%$$
$$O \leq 0,05 \%$$
y que contiene opcionalmente:
$$Si \leq 1,5 \%$$
$$Mn \leq 3 \%$$
$$Al \leq 1,5 \%$$
$$Ni \leq 1 \%$$
$$Mo \leq 1 \%$$
$$Cr \leq 3 \%$$

ES 3 021 908 T3

$\text{Cu} \leq 1 \%$

$\text{Nb} \leq 0,1 \%$

$\text{V} \leq 0,5 \%$

y que comprende precipitados de TiB_2 y opcionalmente de Fe_2B , siendo el resto Fe e impurezas inevitables resultantes de la elaboración.

5