

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 998 540**

51 Int. Cl.:

<b>C21C 5/52</b>	(2006.01) <i>C22C 33/04</i>	(2006.01)
<b>C21C 7/06</b>	(2006.01)	
<b>C21C 7/10</b>	(2006.01)	
<b>C21D 8/06</b>	(2006.01)	
<b>C21D 9/52</b>	(2006.01)	
<b>C22B 9/18</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)	
<b>B21B 1/16</b>	(2006.01)	
<b>C22B 9/04</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.04.2021 PCT/CN2021/091085**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **11.11.2021 WO21223660**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2021 E 21799770 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2024 EP 4119687**

54 Título: **Proceso de fusión de acero para alambre de carborundo ultrafino**

30 Prioridad:

**06.05.2020 CN 202010373412**

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

**20.02.2025**

73 Titular/es:

**BAOSHAN IRON & STEEL CO., LTD. (100.00%)  
No.885 Fujin Road, Baoshan District  
Shanghai 201900, CN**

72 Inventor/es:

**XU, YINGTIE;  
HUANG, ZONGZE;  
LIU, XIANGJIANG;  
WAN, GENJIE y  
QI, YANFENG**

74 Agente/Representante:

**TOMAS GIL, Tesifonte Enrique**

**ES 2 998 540 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**

Proceso de fusión de acero para alambre de carborundo ultrafino

5 **CAMPO TÉCNICO**

[0001] La presente invención se refiere a un proceso de fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino, que pertenece al campo técnico de la fabricación de acero.

10 **ANTECEDENTES**

15 [0002] Los alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) se utilizan principalmente para cortar virutas de silicio, piedras preciosas y similares. Entre ellos, las virutas de silicio son materias primas principales para las industrias fotovoltaica y electrónica. Para mejorar la eficiencia de corte, los alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) requieren una especificación ultrafina que tiene normalmente un diámetro de 0,04-0,055 mm, que es más delgado que un cabello humano. La especificación ultrafina presenta estrictos requisitos sobre el control de inclusiones en el acero. La anchura de todas las inclusiones contenidas en el acero debe ser inferior a 10 µm, y no puede incluir inclusiones de aluminio frágiles.

20 [0003] En la técnica anterior, algunas empresas japonesas llevan a cabo la producción a través del proceso de convertidor-horno de refinación-colada continua-laminación primaria-laminación de alambre. En el proceso de fusión, las inclusiones se controlan principalmente controlando estrictamente el contenido de aluminio de los materiales refractarios y el tratamiento de desnaturalización de las inclusiones para lograr el refinamiento de inclusiones de modo que el alambón tenga una capacidad de deformación. Incluso así, el alambón de acero producido mediante este proceso sigue teniendo el fenómeno de rotura de alambre durante el proceso de trefilado de alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo), y la causa principal de rotura de alambre es las inclusiones de partículas grandes de sílice-alúmina. La rotura de alambre tiene un gran impacto en la producción de trefilado, y el tiempo de conexión de alambre excederá 2 horas después de la rotura de alambre.

25 [0004] Aquellas empresas que no tienen la capacidad de producir acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) utilizando un proceso convertidor y un proceso de horno eléctrico se enfrentan a un problema principal de que no pueden controlar una ausencia completa de inclusiones de alúmina frágil y un alto contenido de inclusiones de magnesia. Si tales inclusiones se controlan mejorando el material refractario, el coste de producción de todo el proceso aumentará considerablemente.

30 [0005] Sin embargo, la demanda de alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) es pequeña, y su beneficio no puede compensar el aumento en el coste de materiales refractarios en todo el proceso. Por lo tanto, la producción de los alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) mediante el proceso de convertidor o el proceso de horno eléctrico no puede lograr beneficios económicos. Para garantizar que el alambre de sierra de carburo de silicio (carborundo) pueda proporcionar suficiente fuerza de rotura y cortar las virutas de silicio de manera eficiente, el requisito para el contenido de carbono en acero es alto. Generalmente, se requiere que el contenido de carbono en porcentaje en masa sea al menos de un 0,92 % o más, preferiblemente más de un 1 %; además, se requiere que el contenido de nitrógeno sea menor de 50 ppm, y tales cantidades de componentes no pueden utilizarse en otros grados de acero. En el proceso de producción a gran escala de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) mediante el proceso de convertidor o el proceso de horno eléctrico, cuando el control de inclusiones no es lo suficientemente bueno, el acero en todo el lote se enfrentará al riesgo de ser desechado, y al mismo tiempo, el acero no puede producirse continuamente en el proceso de colada continua. Desde la perspectiva de la demanda del mercado, debido a su fuerte durabilidad, el consumo de los alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) durante el servicio no es grande, por ejemplo, la demanda del mercado en China se mantiene a 2.000-10.000 toneladas, y los fabricantes de alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) normalmente no piden más de 30 toneladas cada vez a los fabricantes de acero. En este caso, la producción con un proceso de horno eléctrico o un proceso de convertidor de 100 toneladas o más causará el problema de que la producción no se pueda organizar. CN110230008A se refiere a un alambre de acero superfino de resistencia extra alta, un alambón de acero para el alambre de acero superfino de resistencia extra alta, y un método de fabricación del alambón de acero.

**RESUMEN**

60 [0006] Con el fin de superar las deficiencias mencionadas anteriormente en la técnica anterior, la presente invención proporciona un proceso a pequeña escala para la fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino que tienen altos requisitos, como se define en el conjunto adjunto de reivindicaciones. Este proceso puede controlar inclusiones para producir alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino sin que ocurra rotura de alambre durante el proceso de trefilado del alambre de sierra de carburo de silicio (carborundo).

65 [0007] Los problemas técnicos por resolver pueden implementarse mediante las siguientes soluciones técnicas.

[0008] Se proporciona un proceso para la fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino, cuyo proceso de producción se puede resumir como fusión en un horno de inducción al vacío-electroescoria-forja-laminación de alambre, y las etapas principales comprendidas en el proceso son las siguientes:

1) Fundición de una materia prima en 2-5 toneladas de acero fundido líquido bajo la protección de argón en un horno de inducción al vacío con un volumen de 2-5 toneladas, la materia prima utiliza hierro puro libre de carbono e hierro bruto con bajo contenido de fósforo que tiene un contenido de carbono de 3,5 %-4,5 % en masa y un contenido de fósforo de menos del 0,06 % en masa; luego someter al vacío para realizar la fusión al vacío y la desgasificación durante 15-20 min en una condición de alto vacío de 300 Pa o menos, y realizar la desoxigenación con hierro de silicio de alta pureza como desoxidante para ajustar los componentes del acero fundido, donde el desoxidante que contiene aluminio está estrictamente prohibido en el proceso de desoxigenación; y después del ajuste de los componentes del acero fundido, 1-2 de lingotes circulares se cuelean al vacío, donde cada lingote tiene una masa de 1,5-2,5 toneladas, un diámetro de 0,35-0,4 m y una longitud de 2-3 m.

En este proceso, el horno de inducción al vacío se selecciona como un horno de fusión primaria por sus características de capacidad de fusión a pequeña escala y función de desgasificación al vacío para cumplir los requisitos de desnitrificación del grado de acero dirigido en la presente invención; además, el horno de inducción al vacío también puede realizar una colada protectora al vacío, que puede evitar la oxidación secundaria y la absorción de nitrógeno del acero fundido causada por la colada bajo atmósfera ambiente. Considerando que el peso del lingote de colada es de 1,5-2,5 toneladas, cuando se necesitan colar 1-2 lingotes, se necesita seleccionar un horno de inducción al vacío con una escala de 2-5 toneladas para la producción; si se selecciona un horno de inducción a mayor escala, se necesitarán colar 3 o más lingotes, lo que hace difícil realizar la colada al vacío. La selección del hierro puro y del hierro bruto como materias primas es principalmente debida a la configuración del contenido de carbono del grado de acero. El hierro bruto contiene aproximadamente un 4 % de carbono (en masa), lo que puede cumplir el requisito de que el contenido de carbono en el acero fundido final sea de aproximadamente un 1 % (en masa); además, el contenido de elementos residuales nocivos en el hierro puro y en el hierro bruto es bajo, lo que puede garantizar que los elementos residuales nocivos en el acero no excedan el estándar. La desgasificación en condiciones de alto vacío durante 15-20 min es principalmente para garantizar que la desnitrificación pueda cumplir los requisitos del grado de acero, y al mismo tiempo, que la deshidrogenación también pueda realizarse para garantizar que no se produzcan grietas inducidas por hidrógeno. Los componentes del acero fundido se pueden ajustar durante el proceso de fusión al vacío, y se añaden manganeso de alta pureza y hierro de silicio de alta pureza para cumplir con los requisitos de composición final del producto, donde el hierro de silicio de alta pureza se refiere a un material de hierro con un contenido de silicio del 75-85 % en masa y un contenido de aluminio de menos del 0,05 % en masa. El uso de hierro de silicio de alta pureza como desoxidante se debe principalmente al alto contenido de aluminio de hierro de silicio ordinario, que es probable que haga que el contenido final de aluminio exceda el estándar. Está estrictamente prohibido añadir el desoxidante que contiene aluminio, lo que se debe al hecho de que las inclusiones con alto contenido de alúmina contenidas en el acero para el alambre de carburo de silicio (carborundo) ultrafino son inclusiones frágiles, lo que dañará considerablemente el trefilado de los alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo). La selección del tamaño final del lingote se basa principalmente en los requisitos de tamaño de la barra de electrodo para la electroescoria implicada en el proceso posterior.

2) Se limpia la superficie de los lingotes circulares y se cortan 5-10 cm de un extremo de contracción para fabricar barras de electrodo para la fusión por electroescoria. El "extremo de contracción" mencionado en la presente solicitud se refiere a un extremo del lingote que se solidifica al final.

3) Refundición y fusión de las barras de electrodo como materias primas en un horno de electroescoria, donde una electroescoria protectora de escoria comprende lo siguiente en porcentaje en masa:  $\text{CaF}_2$ : 45-55 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 15-25 %,  $\text{SiO}_2$ : 20-25 %,  $\text{Na}_2\text{O}$ : 2-4 %, y  $\text{K}_2\text{O}$ : 1-2 %, y fusión de la barra de electrodo en el horno de electroescoria en un lingote de electroescoria cilíndrico que tiene un diámetro de 0,4-0,5 m.

Durante la refundición y fusión en el horno de electroescoria, la barra de electrodo, la escoria y el acero fundido en el cristizador se conectan a un circuito energizado. En las condiciones de bajo voltaje (un voltaje de 40-60 V) y alta corriente (una corriente de 10-20 KA), la escoria protectora de electroescoria se usa para generar un calentamiento local, de modo que la parte en contacto con la escoria protectora de electroescoria de la parte superior de la barra de electrodo se funde gradualmente en gotitas, y el gran número de gotitas separadas de la barra de electrodo pasa a través de la capa de escoria de la escoria protectora de electroescoria y cae en el baño de acero fundido del cristizador, entonces la parte en contacto con el cristizador del baño de acero fundido se solidifica de nuevo. Durante la refundición y fusión en el horno de electroescoria, el acero fundido se filtra mediante la escoria de protección de electroescoria, que puede eliminar completamente inclusiones grandes, y las inclusiones restantes son todas inferiores a 13  $\mu\text{m}$ ; mientras tanto, la estructura del lingote de electroescoria

obtenido mediante refundición y fusión en el horno de electroescoria es uniforme y densa. Después de la refundición y fusión en el horno de electroescoria, las inclusiones restantes en el acero están más cerca de la composición de la escoria protectora de electroescoria en el horno de electroescoria. Por lo tanto, la presente solución técnica controla que la composición de la escoria protectora de electroescoria sea:  $\text{CaF}_2$ : 45-55 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 15-25 %,  $\text{SiO}_2$ : 20-25 %,  $\text{Na}_2\text{O}$ : 2-4 %, y  $\text{K}_2\text{O}$ : 1-2 % (basado en el 100% de la masa total de la escoria protectora de electroescoria), para controlar la composición de las inclusiones de partículas pequeñas restantes en el acero fundido que también entra dentro de este intervalo. En la escoria protectora de electroescoria, una parte del  $\text{CaF}_2$  se convierte en  $\text{CaO}$ . Las inclusiones en este intervalo tienen las características de bajo punto de fundición y una fuerte capacidad plastificante, lo que permite una deformación suficiente del lingote tanto a lo largo de la dirección de forja como de laminación durante el proceso posterior de forja y laminación, y las anchuras de las inclusiones después de la deformación pueden ser todas inferiores a 7  $\mu\text{m}$ ; además, la superficie de contacto entre las inclusiones y el acero es relativamente lisa, y el daño al acero durante el proceso de trefilado será pequeño, lo que no producirá rotura del alambre durante el trefilado, y también asegura que el alambre de carburo de silicio (carborundo) no se rompa en el proceso de corte de las virutas de silicio. La selección del tamaño del lingote de electroescoria se basa principalmente en la conveniencia del diseño del cristalizador de electroescoria y la posterior forja.

4) Forjar el lingote de electroescoria en una palanquilla forjada para laminación de alambre, donde el lingote forjado es una palanquilla cuadrada que tiene una sección transversal cuadrada con una longitud lateral de 0,140-0,160 m, y la palanquilla forjada tiene una longitud de más de 6 m y menos de 14 m.

5) Laminar la palanquilla forjada en un alambón de acero que tiene una especificación de diámetro de 4,5-5,5 mm mediante el proceso de laminación de alambre, donde el alambón de acero comprende los siguientes componentes en porcentaje en masa: [C]: 0,92-1,1 %, [Si]: 0,3-0,4 %, [Mn]: 0,5-0,8 %, [Al]: menos del 0,0008 %, [N]: menos del 0,005 %, [S]: menos del 0,01 %, [P]: menos del 0,015 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables.

[0009] El alambón de acero producido por la presente invención puede finalmente ser trefilado en un alambre de sierra de carburo de silicio (carborundo) que tiene una especificación ultrafina con un diámetro de 0,04-0,055 mm, que no producirá rotura de alambre en el proceso de trefilado, y adecuado para el corte de alta eficiencia de virutas de silicio, piedras preciosas y similares.

[0010] Como una mejora adicional de la presente solución técnica, en la etapa 1), se requiere además que al final de la fusión en el horno de inducción al vacío, el acero fundido comprenda los siguientes componentes elementales en porcentaje en masa: [C]: 0,94-1,1 %, [Si]: 0,35-0,45 %, [Mn]: 0,6-0,8 %, [Al]: menos del 0,001 %, [N]: menos del 0,0045 %, [S]: menos del 0,01 %, [P]: menos del 0,015 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables. Específicamente, considerando que el silicio se atenuará adicionalmente durante el proceso de electroescoria, el contenido de silicio después de la fusión en el horno de inducción al vacío debe ser mayor; además, dado que el aluminio se atenuará adicionalmente durante el proceso de electroescoria,  $[\text{Al}] < 0,0008 \%$ , si se requiere, sería difícil de lograr en esta etapa, por lo que el contenido de Al se configura a  $[\text{Al}] < 0,001 \%$ .

[0011] La temperatura del acero fundido al final de la fusión en el horno de inducción al vacío se controla a 1460-1500°C; después del %, la fusión en el horno de inducción al vacío, se sopla argón adecuadamente como una atmósfera protectora, de modo que la presión en el horno se ajusta a 10000 Pa-20000 Pa, y luego la colada bajo la atmósfera protectora. La atmósfera protectora es, por ejemplo, pero no se limita a, argón, y el molde de colada adopta un molde de hierro colado.

[0012] Al final de la fusión en el horno de inducción al vacío, el contenido de carbono, silicio y aluminio en el acero fundido será ligeramente mayor que en el acero después de la refundición y fusión en el horno de electroescoria, lo que se debe principalmente a una cierta atenuación del carbono, silicio y aluminio en el acero fundido durante la refundición y fusión en el horno de electroescoria. La temperatura del acero fundido al final de la fusión en el horno de inducción al vacío se controla para que sea de 1460-1500°C, lo que considera principalmente que el grado de sobrecalentamiento de la colada es de 20-60°C, lo que puede colar una barra de electrodo capaz de fusión por electroescoria. En la producción práctica, si solo se cuela un lingote, la temperatura del punto final se puede controlar cerca del límite inferior, es decir, cerca de 1460 °C; si se cuelan dos lingotes, la temperatura del punto final se puede controlar cerca del límite superior, es decir, cerca de 1500 °C, de lo contrario, la colada del segundo lingote no se puede completar. La colada protectora al vacío es para evitar la absorción de nitrógeno y la oxidación secundaria durante el proceso de colada.

[0013] Como una mejora adicional de la presente solución técnica, en la etapa 1), después de que las materias primas de hierro (las materias primas de hierro incluyen hierro puro e hierro bruto con bajo contenido de fósforo) estén completamente fundidas, se añaden 2-5 kg de cal por tonelada de las materias primas de hierro para la fabricación de escoria, desfosforación y desulfuración. Durante la fusión en el horno de inducción al vacío, no es aconsejable añadir demasiado material de escoria (en esta solución técnica, el material de escoria es cal), de lo contrario, causará problemas tales como dificultad en la fundición del material de escoria y afectará a la

desgasificación. Sin embargo, dado que las materias primas contienen inevitablemente azufre y fósforo, para asegurar que la desulfuración y desfosforación se realicen suficientemente, se puede añadir una pequeña cantidad de cal para cumplir con los requisitos de contenidos de azufre y fósforo del producto.

5 [0014] Como una mejora adicional de la presente solución técnica, en la etapa 3), el proceso de electroescoria necesita llevarse a cabo bajo una atmósfera protectora que incluye, pero no se limita a argón; y la etapa de refundición y fusión en el horno de electroescoria son refundición y fusión a una velocidad de fundición constante.

10 [0015] La etapa de refundición y fusión en el horno de electroescoria bajo la atmósfera protectora es principalmente para prevenir la oxidación. Si la oxidación secundaria es importante, conducirá fácilmente a una atenuación importante del silicio y del carbono en el acero fundido debido a la oxidación; y al mismo tiempo, la oxidación secundaria del acero fundido formará más inclusiones de sílice, lo que es desfavorable para el control de inclusiones en el acero fundido.

15 [0016] La presente invención desarrolla una trayectoria de proceso completamente nueva, es decir, a través de las etapas de fusión en el horno de inducción al vacío-electroescoria-forja-laminación de alambre para producir el alambro de acero para el alambre de carburo de silicio (carborundo). La adopción de tal trayectoria de proceso se basa principalmente en las características de baja demanda y altos requisitos para el acero para el alambre de carburo de silicio (carborundo), que puede facilitar la producción a pequeña escala del acero para el alambre de carburo de silicio (carborundo), y resolver el problema de la cantidad excesiva de acero extra que no puede utilizarse debido a la adopción de un proceso convertidor masivo o un proceso de horno eléctrico que produce mucho más peso de acero en cada lote que la cantidad pedida. Este proceso elimina completamente las inclusiones de partículas grandes y las inclusiones frágiles a través del proceso de electroescoria, y puede controlar la composición de las inclusiones dentro del intervalo requerido de plastificación de inclusiones, para lograr la descontaminación de todas las inclusiones en el acero y evitar la rotura del alambre durante el trefilado del alambre de carburo de silicio (carborundo). En este proceso, la producción puede realizarse por la noche, lo que puede hacer un uso completo de la capacidad de la red eléctrica durante el período de menor consumo.

25 [0017] El proceso proporcionado por la solución técnica anterior tiene los siguientes efectos beneficiosos: se puede lograr una producción flexible y estable a pequeña escala del acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino, y las anchuras de inclusiones en el alambro de acero final obtenido son todas menores de 7  $\mu\text{m}$ , lo que asegura que no se producirá rotura del alambre debido a las inclusiones para el alambro de acero en cada proceso de trefilado del alambre de carburo de silicio (carborundo).

### 35 DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0018] La presente invención proporciona un proceso para la fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino a través de un nuevo diseño de trayectoria de proceso de fabricación de acero para producir acero de alta gama para los alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino, que puede realizar la producción flexible y estable del acero para los alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo), y resuelve fundamentalmente el problema de la rotura de alambre en el posterior proceso de trefilado de alambre de carburo de silicio posterior (carborundo) causado por un control deficiente de las inclusiones.

45 [0019] El proceso incluye las siguientes etapas principales:

1) Fusión de una mezcla madre de acero fundido del acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino en un horno de inducción al vacío utilizando hierro puro libre de carbono e hierro bruto con bajo contenido de fósforo que contiene 3,5%-4,5% de carbono y menos de un 0,06% de fósforo como materias primas, seguido de la colada en un lingote circular;

2) Fabricación de barras de electrodo para fusión por electroescoria a partir del lingote circular;

55 3) Refundición y fusión de las barras de electrodo como materias primas en un horno de electroescoria para fabricar un lingote de electroescoria, donde la escoria de protección de electroescoria incluye los siguientes componentes en porcentaje en masa:  $\text{CaF}_2$ : 45-55 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 15-25 %,  $\text{SiO}_2$ : 20-25 %,  $\text{Na}_2\text{O}$ : 2-4%, y  $\text{K}_2\text{O}$ : 1-2 %;

60 4) Forjado; y

5) Laminación por proceso de laminación de alambre para un alambro de acero que tiene un diámetro de 4,5-5,5 mm, donde el alambro de acero incluye los siguientes elementos químicos en porcentaje en masa: [C]: 0,92-1,1 %, [Si]: 0,3-0,4 %, [Mn]: 0,5-0,8 %, [Al]: menos del 0,0008 %, [N]: menos del 0,005 %, [S]: menos del 0,01 %, [P]: menos del 0,015 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables.

65

[0020] El alambión de acero puede ser trefilado en un alambre de carburo de silicio (carborundo) que tiene un diámetro de 0,04-0,055 mm, sin que se produzca ninguna rotura de alambre causada por un control deficiente de las inclusiones en el proceso de trefilado.

5 **Ejemplo 1:**

[0021] El proceso de fusión en un horno de inducción al vacío-electroescoria-forja-laminación de alambre proporcionado por la presente solicitud se utiliza para producir acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo), y las etapas principales del proceso del mismo son las siguientes:

10

1) Se utilizan 1,5 toneladas de barras de hierro puro libre de carbono y 0,5 toneladas de hierro bruto que contiene un 4% de carbono (el contenido de fósforo del hierro bruto es inferior al 0,06 %) como materias primas para ser fundidas en 2 toneladas de acero fundido líquido bajo la protección del argón en un horno de inducción al vacío con una capacidad de 2 toneladas y que tiene la función de colada al vacío. Después de que el acero fundido se derrita completamente, se añaden 10 kg de cal y se realiza el vacío para iniciar la fusión al vacío, incluida la desgasificación durante 15 min en una condición de alto vacío de 300 Pa o menos. En el proceso de fusión al vacío, se añaden 8 kg de hierro de silicio de alta pureza (que contiene un 75 % de silicio) y 18 kg de aleación de manganeso puro para ajustar los componentes del acero fundido, donde después de la fusión en esta etapa, el acero fundido comprende los siguientes elementos químicos en porcentaje en masa: [C]: 1,05 %, [Si]: 0,41 % de [Si], [Mn]: 0,7 %, [Al]: 0,00079 % de, [N]: 0,0040 %, [S]: 0,008 %, [P]: 0,014 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables. A continuación, se sopla argón al horno de inducción al vacío mientras se ajusta la presión en el horno a 10000 Pa o ligeramente más alta y la temperatura del acero fundido a 1465 °C y finalmente se cuela un lingote circular al vacío. El lingote solo tiene una masa de 2 toneladas, un diámetro de 0,35 m y una longitud de 2,8 m.

15

20

25

2) La superficie del lingote circular se limpia por pulido, y se cortan 5 cm de la cabeza del lingote con un extremo de contracción para producir una barra de electrodo para la fusión por electroescoria.

30

3) La barra de electrodo se utiliza como materia prima para la refundición y fusión a una velocidad de fundición constante en un horno de electroescoria bajo una atmósfera protectora de argón. La escoria protectora de electroescoria comprende lo siguiente en porcentaje en masa: CaF<sub>2</sub>: 45 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 25 %, SiO<sub>2</sub>: 25 %, Na<sub>2</sub>O: 3 % y K<sub>2</sub>O: 2 % de. La barra de electrodo se funde en el horno de electroescoria en un lingote de electroescoria cilíndrico con un diámetro de 0,45 m y una longitud de 1,6 m.

35

4) El lingote de electroescoria se forja en una palanquilla forjada para laminación de alambre, donde la palanquilla forjada es una palanquilla cuadrada que tiene una sección transversal cuadrada con una longitud lateral de 0,140 m, y la palanquilla forjada tiene una longitud de 12,5 m.

40

5) La palanquilla forjada se lamina en un alambión de acero que tiene un diámetro de 4,5 mm mediante un proceso de laminación de alambre. El alambión de acero incluye los siguientes elementos químicos en porcentaje en masa: [C]: 1,02 %, [Si]: 0,35 %, [Mn]: 0,6%, [Al]: 0,0005 %, [N]: 0,0048 %, [S]: 0,008 %, [P]: 0,014 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables. Las inclusiones en el alambión de acero se detectan como una inclusión compuesta CaF<sub>2</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O y una inclusión compuesta SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO-CaO-MgO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O (El contenido de SiO<sub>2</sub> en ambas inclusiones compuestas es mayor al 50 %). Estas dos series de inclusiones tienen buena plasticidad, y las anchuras de las inclusiones son todas menores de 6 μm, que son inclusiones inocuas y no causarán rotura de alambre en el proceso de trefilado del alambión de acero.

45

50

[0022] El alambión de acero producido en este ejemplo puede finalmente ser trefilado en un alambre maestro de carburo de silicio (carborundo) con un diámetro de 0,05 mm sin que se produzca ninguna rotura de alambre en el proceso de trefilado y el alambre de carburo de silicio (carborundo) puede ser utilizado para el corte de alta eficiencia de virutas de silicio, piedras preciosas y similares.

55 **Ejemplo 2:**

[0023] El proceso de fusión en un horno de inducción al vacío-electroescoria-forja-laminación de alambre proporcionado por la presente solicitud se utiliza para producir acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo), y las etapas principales del proceso del mismo son las siguientes:

60

1) Se utilizan 3,75 toneladas de barras de hierro puro libre de carbono y 1,25 toneladas de hierro bruto que contiene un 3,9 % de carbono (el contenido de fósforo del hierro bruto es inferior al 0,06 %) como materias primas para ser fundidas en 5 toneladas de acero fundido líquido bajo la protección del argón en un horno de inducción al vacío con una capacidad de 5 toneladas y que tiene la función de colada al vacío. Después de que el acero fundido se derrita completamente, se añaden 20 kg de cal y se realiza el vacío para iniciar la fusión al vacío, incluida la desgasificación durante 20 min en una condición de

65

alto vacío de 300 Pa o menos. En el proceso de fusión al vacío, se añaden 20 kg de hierro de silicio de alta pureza (que contiene un 75 % de silicio) y 45 kg de aleación de manganeso puro, donde después de la fusión, el acero fundido en esta etapa, el acero fundido comprende los siguientes elementos químicos en porcentaje en masa: [C]: 0,96 %, [Si]: 0,45 %, [Mn]: 0,75 % , [Al]: 0,0009 %, [N]: 0,0038 %, [S]: 0,0095 %, [P]: 0,013 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables. A continuación, se sopla argón al horno de inducción al vacío mientras se ajusta la presión en el horno a 12000 Pa o ligeramente más alta y la temperatura del acero fundido a 1485 °C, y finalmente se cuelan dos lingotes circulares al vacío, teniendo cada lingote una masa de 2,5 toneladas, un diámetro de 0,4 m y una longitud de 2,6 m.

2) La superficie del lingote circular se limpia por pulido, y se cortan 6 cm de la cabeza del lingote con un extremo de contracción para producir una barra de electrodo para la fusión por electroescoria.

3) La barra de electrodo se utiliza como materia prima para la refundición y fusión a una velocidad de fundición constante en un horno de electroescoria bajo una atmósfera protectora de argón La escoria protectora de electroescoria incluye en porcentaje en masa: CaF<sub>2</sub>: 51%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 22 %, SiO<sub>2</sub>: 23 %, Na<sub>2</sub>O: 3 % y K<sub>2</sub>O: 1 %. La barra de electrodo se funde en el horno de electroescoria en un lingote de electroescoria cilíndrico con un diámetro de 0,5 m y una longitud de 1,5 m.

4) El lingote de electroescoria se forja en una palanquilla forjada para laminación de alambre, donde el lingote forjado es una palanquilla cuadrada que tiene una sección transversal cuadrada con una longitud lateral de 0,16 m, y la palanquilla forjada tiene una longitud de 12 m.

5) La palanquilla forjada se lamina en un alambón de acero que tiene un diámetro de 5 mm mediante un proceso de laminación de alambre.

[0024] El alambón de acero incluye los siguientes elementos químicos en porcentaje en masa: [C]: 0,93 %, [Si]: 0,4 %, [Mn]: 0,5 %, [Al]: 0,0006 %, [N]: 0,0040 %, [S]: 0,0095 %, [P]: 0,013 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables. Las inclusiones en el alambón de acero se detectan como una inclusión compuesta CaF<sub>2</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O y una inclusión compuesta SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO-CaO-MgO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O (El contenido de SiO<sub>2</sub> en ambas inclusiones compuestas es superior al 60%). Estas dos series de inclusiones tienen buena plasticidad, y las anchuras de las inclusiones son todas inferiores a 7 μm, que son inclusiones inocuas y no causarán rotura de alambre en el proceso de trefilado del alambón de acero.

[0025] El alambón de acero producido en este ejemplo puede finalmente ser trefilado en un alambre maestro de carburo de silicio (carborundo) con un diámetro de 0,055 mm sin que se produzca ninguna rotura de alambre en el proceso de trefilado, y el alambre de carburo de silicio (carborundo) puede ser utilizado para el corte de alta eficiencia de virutas de silicio, piedras preciosas y similares.

### Ejemplo 3:

[0026] El proceso de fusión en un horno de inducción al vacío-electroescoria-forja-laminación de alambre proporcionado por la presente solicitud se utiliza para producir acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo), y las etapas principales del proceso del mismo son las siguientes:

1) Se utilizan 3 toneladas de barras de hierro puro libre de carbono y 1 tonelada de hierro bruto que contiene un 4,2 % de carbono (el contenido de fósforo del hierro bruto es inferior al 0,06 %) como materias primas para ser fundidas en 4 toneladas de acero fundido líquido bajo la protección del argón en un horno de inducción al vacío con una capacidad de 4 toneladas y que tiene la función de colada al vacío. Después de que el acero fundido se derrita completamente, se añaden 15 kg de cal y se realiza el vacío para iniciar la fusión al vacío, incluida la desgasificación durante 18 minutos en una condición de alto vacío de 250 Pa o menos. En el proceso de fusión al vacío, se añaden 15 kg de hierro de silicio de alta pureza (que contiene un 75 % de silicio) y 33 kg de aleación de manganeso puro como desoxidante para la desoxigenación, donde después de la fusión en esta etapa, el acero fundido comprende los siguientes elementos químicos en porcentaje en peso: [C]: 1,1 %, [Si]: 0,35 %, [Mn]: 0,6 %, [Al]: 0,0007 %, [N]: 0,0034 %, [S]: 0,0099 %, [P]: 0,012 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables. A continuación, se sopla argón al horno de inducción al vacío mientras se ajusta la presión en el horno a 15000 Pa o ligeramente más alta y la temperatura del acero fundido a 1495 °C, y finalmente se cuelan dos lingotes circulares al vacío, teniendo cada lingote una masa de 2 toneladas, un diámetro de 0,38 m y una longitud de 2,4 m.

2) La superficie del lingote circular se limpia por pulido, y se cortan 8 cm de la cabeza del lingote con un extremo de contracción para producir una barra de electrodo para la fusión por electroescoria.

3) La barra de electrodo se utiliza como materia prima para la refundición y fusión a una velocidad de fundición constante en un horno de electroescoria bajo una atmósfera protectora de argón La escoria protectora de electroescoria incluye en porcentaje en masa: CaF<sub>2</sub>: 55 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 15 %, SiO<sub>2</sub>: 24 %, Na<sub>2</sub>O:

## ES 2 998 540 T3

4 % y  $K_2O$ : 2 %. La barra de electrodo se funde en el horno de electroescoria en un lingote de electroescoria cilíndrico con un diámetro de 0,45 m y una longitud de 1,5 m.

5 4) El lingote de electroescoria se forja en una palanquilla forjada para laminación de alambre, donde el lingote forjado es una palanquilla cuadrada que tiene una sección transversal cuadrada con una longitud lateral de 0,15 m, y la palanquilla forjada tiene una longitud de 10,3 m.

10 5) La palanquilla forjada se lamina en un alambón de acero que tiene un diámetro de 5,5 mm mediante un proceso de laminación de alambre. El alambón de acero incluye los siguientes elementos químicos en porcentaje en masa: [C]: 1,05 %, [Si]: 0,3 %, [Mn]: 0,5 %, [Al]: 0,0005 %, [N]: 0,0038 %, [S]: 0,0099 %, [P]: 0,012 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables. Las inclusiones en el alambón de acero se detectan como una inclusión compuesta  $CaF_2-CaO-SiO_2-Al_2O_3-Na_2O-K_2O$  y una inclusión compuesta  $SiO_2-Al_2O_3-MnO-CaO-MgO-Na_2O-K_2O$  (El contenido de  $SiO_2$  en ambas inclusiones compuestas es superior al 50 %) Estas dos series de inclusiones tienen buena plasticidad, y las anchuras de las inclusiones son todas inferiores a 5  $\mu m$ , que son inclusiones inocuas y no causarán rotura de alambre en el proceso de trefilado de alambón de acero.

20 [0027] El alambón de acero producido en este ejemplo puede finalmente ser trefilado en un alambre maestro de carburo de silicio (carborundo) con un diámetro de 0,04 mm sin que se produzca ninguna rotura de alambre en el proceso de trefilado, y el alambre de carburo de silicio (carborundo) puede ser utilizado para el corte de alta eficiencia de virutas de silicio, piedras preciosas y similares.

## REIVINDICACIONES

1. Proceso de fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino, que comprende las siguientes etapas:

- 5
- 1) Fundir una materia prima en acero fundido líquido bajo la protección del argón en un horno de inducción al vacío, donde la materia prima utiliza hierro puro libre de carbono e hierro bruto con bajo contenido en fósforo que tiene un contenido de carbono de 3,5 %-4,5 % en masa; después, someter al vacío para realizar la fusión al vacío, donde la fusión al vacío se realiza en una condición inferior a 300 Pa para desgasificar durante 15-20 min, y realizar la desoxigenación con hierro de silicio de alta pureza como desoxidante para ajustar los componentes del acero fundido; y después del ajuste de los componentes del acero fundido, colar lingotes circulares en condiciones de vacío, donde cada lingote tiene una masa de 1,5-2,5 toneladas, un diámetro de 0,35-0,4 m y una longitud de 2-3 m;
- 10
- 2) limpiar la superficie de los lingotes circulares para fabricar barras de electrodo para la fusión por electroescoria;
- 15
- 3) refundición y fusión de las barras de electrodo como materias primas en un horno de electroescoria, donde una escoria de protección de electroescoria comprende lo siguiente en porcentaje en masa:

20

CaF<sub>2</sub>: 45-55 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 15-25 %, SiO<sub>2</sub>: 20-25 %, Na<sub>2</sub>O: 2-4 %, y K<sub>2</sub>O: 1-2 %; y fusión de la barra de electrodo en el horno de electroescoria en un lingote de electroescoria cilíndrico que tiene un diámetro de 0,4-0,5 m;

- 25
- 4) forjar el lingote de electroescoria en una palanquilla forjada para laminación de alambre, donde la palanquilla forjada es una palanquilla cuadrada que tiene una sección transversal cuadrada con una longitud lateral de 0,140-0,160 m, y la palanquilla forjada tiene una longitud mayor de 6 m; y
- 30
- 5) laminar la palanquilla forjada en un alambón de acero que tiene un diámetro de 4,5-5,5 mm mediante el proceso de laminación de alambre, donde el alambón de acero comprende los siguientes elementos químicos en porcentaje en peso: [C]: 0,92-1,1 %, [Si]: 0,3-0,4 %, [Mn]: 0,5-0,8 %, [Al]: menos del 0,0008 %, [N]: menos del 0,005 %, [S]: menos del 0,01 %, [P]: menos del 0,015 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables,

2. Proceso de fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino según la reivindicación 1, donde el volumen del horno de inducción al vacío es de 2-5 toneladas.

35

3. Proceso de fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino según la reivindicación 1, donde en la etapa 2), después de limpiar la superficie del lingote circular, se cortan 5-10 cm de un extremo de contracción.

40

4. Proceso de fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino según la reivindicación 1, donde en la etapa de fusión en el horno de inducción al vacío en la etapa 1), después de la fusión, el acero fundido comprende los siguientes componentes elementales en porcentaje en masa: [C]: 0,94-1,1 %, [Si]: 0,35-0,45 %, [Mn]: 0,6-0,8 %, [Al]: menos del 0,001 %, [N]: menos del 0,0045 %, [S]: menos del 0,01 %, [P]: menos del 0,015 %, y el resto es hierro e impurezas inevitables; la temperatura del acero fundido se controla a 1460-1500°C; y después de la fusión, se sopla argón como una atmósfera protectora y se ajusta la presión en el horno de inducción al vacío a 10000-20000 Pa, luego se cuela bajo la atmósfera protectora.

45

5. Proceso de fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino según la reivindicación 1 o 4, donde en la etapa 1), un molde de colada para colar el lingote es un molde de hierro colado.

50

6. Proceso de fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino según la reivindicación 1, donde en la etapa 1), después de que las materias primas se derritan completamente, se añaden 2-5 kg de cal por tonelada de las materias primas para la fabricación de escoria, desfosforación y desulfuración.

55

7. Proceso de fusión de acero para alambres de sierra de carburo de silicio (carborundo) ultrafino según la reivindicación 1, donde la etapa 3) se lleva a cabo bajo una atmósfera protectora, y la etapa de refundición y fusión en el horno de electroescoria es refundición y fusión a una velocidad de fundición constante en el horno de electroescoria.