

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 501**

51 Int. Cl.:

**C21C 5/52** (2006.01)

**C21C 5/46** (2006.01)

**C21C 7/068** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.06.2006 PCT/GB2006/050136**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.12.2006 WO06131764**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.06.2006 E 06744338 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.05.2017 EP 1888793**

54 Título: **Producción de ferroaleaciones**

30 Prioridad:

**10.06.2005 GB 0511883**

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

**13.09.2017**

73 Titular/es:

**THE BOC GROUP LIMITED (100.0%)  
The Priestley Centre 10 Priestley Road The  
Surrey Research Park Guildford  
Surrey GU2 7XY, GB**

72 Inventor/es:

**CAMERON, ANDREW MILLER**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 632 501 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

Producción de ferroaleaciones.

- 5 Esta invención se refiere a la fabricación de aleaciones férreas ("ferroaleaciones") a partir de chatarra de acero, y particularmente a la fabricación de acero inoxidable.

10 El acero inoxidable es una aleación férrea con bajo contenido de carbono que incluye típicamente cromo y níquel como elementos de aleación. Una composición típica contiene 18% en peso de cromo, 8% en peso de níquel y menos de 0,1% en peso de carbono, siendo el resto hierro y cualesquiera otros elementos de aleación (con exclusión de impurezas incidentales). El acero inoxidable se produce típicamente por fusión de una carga de chatarra de acero dulce y ferroaleaciones ricas en carbono en un horno de arco eléctrico para formar una aleación bruta que contiene hasta 0,5% en peso de cromo más del deseado en el producto y que tiene un contenido de carbono en el intervalo de 0,25% a 2,5% en peso y un contenido de silicio en el intervalo de 0,2% a 1,5% en peso. 15 Los niveles particulares de carbono y silicio dependen de la especificación del producto, la práctica de fabricación del acero y el tamaño de la vasija. La aleación bruta se transfiere en estado fundido a un convertidor en donde la aleación fundida se sopla por debajo de la superficie del metal fundido con oxígeno para oxidar el contenido de carbono del acero inoxidable resultante hasta menos de 0,1% en peso. En muchos casos, el soplado sumergido se complementa con La utilización de una lanza superior para suministrar oxígeno adicional durante parte del ciclo de 20 afino.

A medida que el nivel de carbono disminuye progresivamente durante el soplado, se registra cierta tendencia del oxígeno a reaccionar con el cromo para formar óxido de cromo. Asimismo, se registra una tendencia asociada al establecimiento de una temperatura excesiva en el convertidor debido a la naturaleza exotérmica de las reacciones de oxidación. En la práctica, esta tendencia puede contrarrestarse por la adopción de la práctica de Descarburación al Argón-Oxígeno (AOD), mediante la cual el oxígeno se diluye progresivamente, o por pasos, con argón a fin de reducir la presión parcial de monóxido de carbono y promover así la oxidación del carbono con preferencia a la oxidación del cromo. de este modo, la mayor parte del cromo se retiene en el metal fundido. La evitación de la oxidación del cromo ayuda a mantener las temperaturas en un nivel aceptable, por ejemplo, a una temperatura no superior a 1750°C. A veces, se hacen adiciones de chatarra no particulada para facilitar adicionalmente el control de la temperatura. En un ejemplo típico, el soplado se inicia con una ratio de oxígeno a nitrógeno (en volumen) de 3:1. Esta ratio se cambia en una serie de pasos, empleándose argón en sustitución de nitrógeno en un paso dado, hasta una en la cual el oxígeno, en lugar del argón, es el componente menor de la mezcla gaseosa. La serie exacta de mezclas de gas y otros detalles del proceso dependen del grado de acero que se produzca. Después del soplado, 35 puede añadirse algo de ferrosilicio para reducir el óxido de cromo en la escoria y puede introducirse cal como agente de desulfuración.

El proceso Creusot-Loire-Uddeholm (CLU) puede utilizarse como alternativa al proceso AOD a fin de fabricar el acero inoxidable. El proceso CLU es análogo al proceso AOD, pero utiliza típicamente vapor en lugar de argón para diluir el oxígeno que se sopla en la masa fundida por debajo de su superficie. 40

Durante la fusión de la chatarra de acero y los materiales de aleación en el horno de arco eléctrico, pueden añadirse algunos átomos de oxígeno en forma químicamente combinada como parte de las materias primas, por ejemplo, si la chatarra se encuentra en estado oxidado, o si se utiliza un agente fundente que contiene oxígeno, tal como cal o piedra caliza. Adicionalmente, algo de oxígeno y posiblemente algo de humedad de los alrededores reacciona con el metal fundido. Como resultado, se oxida cierta proporción de los elementos de aleación, particularmente el cromo, y como consecuencia el cromo se pierde en la capa de escoria que se forma sobre el metal fundido durante la fusión de la chatarra de acero en el horno de arco eléctrico. 45

La pérdida de óxido de cromo en la capa de escoria no sólo es desventajosa porque, como consecuencia, es preciso añadir una cantidad innecesariamente grande de cromo a la chatarra de acero en el horno de arco eléctrico, sino que ello es desventajoso también porque tiene un efecto adverso sobre las propiedades de la capa de escoria. Durante la operación convencional de un horno de arco eléctrico para producir acero dulce, en lugar de un acero aleado, se añaden a la escoria materiales que contienen carbono para crear burbujas de monóxido de carbono por reacción entre el carbono y los óxidos reducibles contenidos en la escoria. La formación de las burbujas de monóxido de carbono da lugar a una escoria espumosa. Se reconoce que la operación del horno de arco eléctrico con una escoria espumosa aporta varias ventajas con respecto a la operación con una escoria quieta. En particular, el consumo de energía es menor en el primer caso y el consumo de electrodos y del revestimiento refractario de las paredes del horno es también menor en la operación con escoria espumosa que en la operación con escoria quieta. 50 Sin embargo, la presencia de una proporción considerable de un óxido anfótero tal como óxido de cromo aumenta la viscosidad de la escoria y reduce la cantidad de oxígeno disponible para la formación de óxidos reducibles tales como óxido ferroso. Para fines prácticos, no es posible operar el horno de arco eléctrico con una escoria espumosa en la fabricación del acero inoxidable. 55

El documento WO-A-00/34532 describe que el acero fundido puede transferirse desde el horno de arco eléctrico al convertidor por medio de una cuchara, y que puede añadirse ferrosilicio particulado fino a la escoria en el horno de 60

arco eléctrico antes del sangrado del acero fundido y la escoria del horno. Como resultado, el ferrosilicio reacciona con el óxido de cromo contenido en la escoria y se forma cromo metálico fundido resultante que desciende en el metal fundido. No obstante, este procedimiento es difícil de controlar satisfactoriamente. La cantidad exacta de oxígeno que entra en la masa fundida en el horno de arco no puede conocerse con exactitud. Si se añade una cantidad de silicio excesivamente pequeña, el contenido de óxido de cromo de la escoria seguirá siendo demasiado alto; si se añade demasiado silicio, el contenido de silicio resultante en el acero que se lleva al convertidor será demasiado alto, aumentando con ello el tiempo de afino y aumentando la cantidad de escoria que se forma en el convertidor. El documento WO-A-03/104508 describe un método de afino de una ferroaleación, tal como acero inoxidable, que incluye el paso de soplado de oxígeno molecular o una mezcla de gases que incluye oxígeno molecular en una masa fundida de la ferroaleación, en donde un material particulado metalúrgicamente aceptable, tal como un ferrocromo o cromita, se introduce desde arriba en la masa fundida, siendo transportado el material particulado al interior de la masa fundida en un primer chorro supersónico de gas que se desplaza a la masa fundida envuelto por un segundo chorro de gas. Sin embargo, el documento WO-A-03/104508 no aborda los problemas en la fusión inicial del acero en el horno de arco eléctrico.

Según la presente invención, se proporciona un método según la reivindicación 1.

La introducción de cromo particulado y, en caso deseado, otros constituyentes de aleación (o sus precursores) durante el paso de afino facilita la práctica de la escoria espumosa en el horno de arco eléctrico eliminando, minimizando o manteniendo baja la entrada en la escoria de especies tales como óxido de cromo que son deletéreas para sus características de espumación, pudiendo minimizarse o eliminarse la cantidad de cromo empleada en el paso de fusión. Por tanto, se forma una escoria de viscosidad suficientemente baja, que contiene una proporción adecuada de óxidos reducibles y por ello no presenta dificultad alguna para la espumación de la escoria por un método convencional, por ejemplo, por la inyección en la escoria de carbono particulado desde una lanza. De hecho, los inventores creen que es posible operar el método según la invención sin añadir cantidad alguna de cromo metálico, aleación que contenga cromo o mineral de cromo a la carga de acero que se funde en dicho paso (a) (aunque el acero que se funde puede contener inevitablemente algo de chatarra de una clase que incluye cromo como componente de aleación).

Preferiblemente, el oxígeno molecular es expulsado desde la lanza a una velocidad supersónica. La utilización de tal velocidad supersónica facilita la penetración del oxígeno molecular en el acero fundido y, por tanto, puede facilitar a su vez la reacción rápida entre el oxígeno y el carbono en el acero fundido. Preferiblemente, el oxígeno molecular es expulsado desde la lanza a una velocidad en el intervalo de Mach 1,5 a Mach 4, más preferiblemente a una velocidad en el intervalo de Mach 2 a Mach 3.

Típicamente, el primer material particulado metalúrgicamente aceptable es transportado hasta la lanza en un gas portador. El gas portador puede ser oxígeno puro, pero a fin de minimizar el riesgo de incendio, es preferiblemente aire, nitrógeno o un gas noble. El primer material particulado metalúrgicamente aceptable puede ser transportado como fase diluida o como fase densa.

La lanza puede comprender simplemente un dispositivo de dos tubos, teniendo por finalidad el primer tubo la expulsión del oxígeno molecular y el segundo tubo la expulsión del primer material particulado metalúrgicamente aceptable. Son posibles varias configuraciones diferentes de los tubos. Por ejemplo, los tubos primero y segundo pueden ser coaxiales, rodeando el primer tubo al segundo tubo. Una ventaja de tal configuración es que el primer material particulado metalúrgicamente aceptable puede introducirse en el flujo de oxígeno molecular expulsado desde la lanza y transportado con él al acero fundido. Como consecuencia, generalmente no es necesario emplear un chorro de gas de envolvimiento, particularmente en forma de una llama, como se describe en WO-A-03/104508. Así, no es necesario utilizar las formas más complejas de lanza descritas en dicho documento, aunque tales formas pueden ser ventajosas si la energía adicional impartida por la llama puede utilizarse para favorecer la disolución o compensar reacciones endotérmicas.

Una de las ventajas ofrecidas por el método según la presente invención es que, si el primer material particulado metalúrgicamente aceptable contiene una especie reactiva, es posible facilitar la reacción de dicha especie utilizando el oxígeno molecular para crear una región localizada, fuertemente sobrecalentada en el acero fundido en la cual puede introducirse el primer material particulado metalúrgicamente aceptable. La mayor temperatura de dicha región con respecto a la temperatura media del acero fundido ayuda a promover una disolución más rápida del primer material particulado y reacciones químicas más rápidas, contribuyendo así a acortar la duración total del paso de afino en comparación con la que sería precisa en caso contrario. Adicionalmente, el aumento de la temperatura favorece la oxidación del carbono con respecto al cromo. Al estar localizada la región de alta temperatura, se mantiene bajo el riesgo de una tasa significativamente mayor de desgaste de los materiales refractarios que protegen las paredes de la vasija.

El primer material particulado metalúrgicamente aceptable es ventajosamente ferrocromo. El ferrocromo es una aleación de hierro y cromo que contiene típicamente de 5 a 10% en peso de carbono. Por tanto, es deseable introducir todo el ferrocromo en el acero fundido durante una primera parte del paso de afino y reducir luego el nivel de carbono a un valor aceptable en una segunda parte del paso de afino en la cual no se introduce cantidad alguna

de ferrocromo en el metal fundido. Preferiblemente, la primera parte del paso de afino no consume más del 60% de la duración total del paso de afino. Sorprendentemente, las simulaciones realizadas por los autores de la invención predicen que, a pesar del alto contenido de carbono del ferrocromo, su utilización como primer material particulado hace posible un acortamiento de la duración del paso de afino en comparación con un método convencional comparable en el cual no se hace adición alguna de aleación durante el paso de afino y en el cual todo el gas introducido en el acero fundido se suministra desde toberas (que terminan por debajo de la superficie del acero fundido). Un factor que contribuye a este resultado puede ser el efecto de enfriamiento que produce el ferrocromo particulado. Este efecto de enfriamiento ayuda a limitar o controlar el aumento de temperatura resultante de la reacción exotérmica entre el carbono y el oxígeno para formar monóxido de carbono. Hay dos contribuciones principales al efecto de enfriamiento. La primera procede del enfriamiento sensible proporcionado por el ferrocromo. La segunda se debe a su entalpía de fusión.

El tamaño medio de partícula del primer material particulado metalúrgicamente aceptable es preferiblemente menor que 5 mm. Particularmente, se prefiere utilizar un material particulado fino. Un material particulado fino es aquél que, si se alimentara simplemente por gravedad a un convertidor, en el cual se lleva a cabo típicamente el paso de afino del método según la invención, no atravesaría la superficie del metal fundido y, por tanto, tendría como máximo sólo un efecto insignificante.

El primer material metalúrgicamente aceptable desde el punto de vista metalúrgico puede ser como alternativa, pero todavía ventajosamente, un mineral de cromo, preferiblemente un mineral de la clase de los óxidos. Un mineral de este tipo es la cromita, que es un óxido mixto de hierro y cromo. La utilización de tal mineral altera significativamente la metalurgia del paso de afino. En este caso, es necesario reducir el mineral a fin de liberar cromo metálico. Así, el mineral de cromo se disuelve en el acero fundido y reacciona con un agente reductor adecuado. Además, dado que la reducción del óxido de cromo es endotérmica, es deseable añadir combustible adicional, típicamente en forma de carbono particulado. De acuerdo con ello, se prefiere introducir desde la lanza en el acero fundido un segundo material particulado que comprende una mezcla de carbono y al menos un agente desoxidante. Agentes desoxidantes adecuados, cuando son metalúrgicamente aceptables, incluyen ferrosilicio, ferromanganeso, aluminio y ferroaluminio.

Dado que el acero inoxidable contiene típicamente otros elementos de aleación adicionalmente del manganeso, es necesario asegurarse de que el producto del método según la invención incluya cualquiera de tales elementos de aleación adicionales deseados. Si se desea, dichos elementos de aleación pueden añadirse al acero fundido durante el paso de afino. Según ello, un tercer material particulado metalúrgicamente aceptable seleccionado de fuentes de tales elementos de aleación se introduce preferiblemente en el acero fundido durante el paso de afino. El tercer material particulado metalúrgicamente aceptable puede comprender, por ejemplo, al menos uno de níquel metálico, aleaciones de níquel (por ejemplo, ferrocromo), minerales de níquel, molibdeno metálico, aleaciones de molibdeno (por ejemplo, ferromolibdeno) y minerales de molibdeno.

Típicamente, en el paso de afino, la lanza no es la única fuente de oxígeno molecular. Se sopla también típicamente oxígeno molecular en el acero fundido durante el paso de afino desde al menos una tobera que termina por debajo del nivel del acero fundido. Análogamente a los métodos convencionales de afino del acero inoxidable, se puede introducir en el acero fundido al menos un gas distinto del oxígeno durante el paso de afino para aumentar la propensión de las condiciones de afino a favorecer la oxidación del carbono sobre la oxidación del cromo. El otro gas puede ser al menos uno seleccionado de argón, nitrógeno y vapor y puede introducirse al menos en parte por la misma tobera del oxígeno o por una tobera diferente. También es posible mezclar con otro gas el oxígeno molecular que se introduce desde la lanza en el acero fundido. La utilización de la lanza en el método según la invención puede emplearse por tanto para ayudar a controlar sus variables termodinámicas.

El método según la presente invención ofrece varias ventajas generales. El mismo puede mejorar el funcionamiento de la operación de fusión del acero por realización de la operación bajo una escoria espumosa. Esto hace posibles tiempos de afino más cortos, por lo que conduce a aumentos de productividad. Adicionalmente, puede hacerse uso de materiales particulados finos que en caso contrario podrían ser materiales de desecho.

A continuación, se describirá el método según la presente invención a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un convertidor que puede utilizarse para realizar el paso de afino, y Las Figuras 2 a 4 son gráficos que representan parámetros operativos simulados para la operación del convertidor representado en la Figura 1.

El primer paso del método según la invención implica la fusión de un lote de chatarra de acero dulce en un horno de arco eléctrico. La fusión del acero en un horno de arco es convencional. Típicamente, se añade un agente fundente tal como cal para promover la formación de una escoria básica. Algunos elementos de aleación tales como níquel y molibdeno pueden incluirse también en la carga inicial, aunque ambos se pueden añadir en un paso posterior del método según la invención.

El cebado de un arco en el horno hará que la chatarra de acero funda. El óxido de calcio reacciona con las impurezas en el acero para formar una escoria básica en la superficie del acero fundido. La escoria incluye típicamente un componente de óxido de hierro. Con objeto de hacer espumosa la escoria y obtener con ello las ventajas arriba mencionadas en términos de la operación del horno de arco eléctrico, se emplea una lanza para introducir desde arriba un material carbonoso particulado en la escoria. El material carbonoso particulado es transportado a la lanza en un gas portador y es expulsado de ella a una velocidad suficiente para penetrar en la capa de escoria. El carbono particulado reduce el óxido de hierro en la escoria formando monóxido de carbono. Con ello se forman burbujas de dióxido de carbono. Como resultado, la escoria se hace espumosa.

Si se desea, pueden utilizarse uno o más quemadores oxígeno-combustible para aportar calor a la carga a fin de reducir el tiempo necesario para la fusión del acero. En general, el operador del horno tiene más libertad en la utilización de los quemadores oxígeno-combustible que, en un procedimiento convencional, dado que la ausencia relativa de cromo en la carga hace posible evitar en gran parte la formación incrementada de óxidos tales como el óxido de cromo que son difíciles de reducir de nuevo al metal.

Una consecuencia adicional del empleo de una carga sin cromo o sólo con un contenido bajo de cromo, es que la adición a ella, sea antes, durante o después de la fusión, de ferrosilicio u otro agente desoxidante para reducir de nuevo el óxido de cromo a cromo, puede ser menor o eliminarse por completo.

Una vez que la chatarra de acero se ha fundido, la misma se transfiere típicamente a una cuchara, desde la cual se transfiere a un convertidor de la clase representada en la Figura 1. La transferencia del acero fundido desde un horno de arco eléctrico por medio de una cuchara a un convertidor es una operación estándar en la fabricación del acero inoxidable y no precisa ser descrita aquí con más detalle.

Con referencia a la Figura 1 de los dibujos, un convertidor 2 tiene la forma de una vasija 4 que tiene paredes 6 provistas de un revestimiento refractario interno 8. La vasija está abierta por su parte superior y está provista de una lanza axial 10 que termina en su interior. Durante la operación, la vasija 4 se carga con acero fundido que se transfiere desde la cuchara mencionada anteriormente. La vasija 4 se carga hasta un nivel tal que, durante la operación, una pluralidad de toberas 12 tienen salidas sumergidas en un volumen 16 de acero fundido. La lanza 10 comprende dos tubos coaxiales 22 y 24. El tubo interior 22 está adaptado para ponerse en comunicación con una fuente (no representada) de gas portador en el cual puede alimentarse un material particulado. El tubo exterior 24 está en comunicación con una fuente (no representada) de oxígeno comercialmente puro. El tubo exterior 24 termina típicamente en una boquilla Laval 25 y el oxígeno se suministra a una presión tal que el mismo es expulsado desde la boquilla Laval 25 a una velocidad supersónica. Durante la operación, el material particulado que sale del tubo 22 es arrastrado en el chorro de oxígeno que sale de la boquilla 25 Laval y es transportado al acero fundido típicamente desde una capa de escoria 28 que se forma sobre el acero fundido.

El oxígeno que se introduce en el acero fundido desde la lanza 10 reacciona exotérmicamente con los componentes oxidables o impurezas en el acero fundido y proporciona con ello calor para mantener el acero en su estado de fusión. Se suministra oxígeno adicional al acero fundido desde las toberas 12. El oxígeno que se suministra a las toberas 12 puede mezclarse selectivamente con uno o ambos de argón y nitrógeno. Por consiguiente, la presión parcial del oxígeno suministrado al acero fundido puede ajustarse por ajuste de la fracción molar de argón y nitrógeno que se mezclan con el oxígeno.

En un ejemplo típico de la operación del convertidor representado en la Figura 1 de los dibujos, el material particulado que se introduce en el acero fundido desde la lanza 10 es ferrocromo en forma de partículas finas. El ferrocromo contiene típicamente de 5 a 10% en peso de carbono. Si se desea, pueden añadirse al acero fundido otros elementos de aleación por medio de la lanza 10. Por ejemplo, puede añadirse níquel en forma de ferroníquel y molibdeno en forma de ferromolibdeno. También puede añadirse silicio en forma de ferrosilicio. Las cantidades que se añaden de estos elementos de aleación dependerán en parte de la composición deseada del acero inoxidable. Una característica digna de mención de la presente invención es que la adición de tales elementos de aleación al acero fundido en el convertidor permite mantener su adición al horno de arco eléctrico en un nivel que no impide la espumación de la escoria en el mismo o que se elimine por completo.

Dado que el ferrocromo tiene un alto contenido de carbono, no sólo la operación del convertidor representado en el dibujo implica la disolución del ferrocromo en el acero fundido, sino que implica también la eliminación de sustancialmente todo el carbono por reacción con el oxígeno. Tanto la disolución del ferrocromo como la reacción de

afino se ven favorecidas por el hecho de que el chorro de oxígeno que sale de la lanza 10 crea en la proximidad de la región en la que entra el mismo en el acero fundido un volumen localizado de metal fundido fuertemente sobrecalentado. La alta temperatura en esta región favorece particularmente la reacción entre el carbono disuelto y el oxígeno para formar monóxido de carbono. La lanza está localizada típicamente sobre el eje vertical del convertidor 2 de tal modo que la región sobrecalentada es central y no afecta sustancialmente a la temperatura del

acero fundido en la proximidad del revestimiento refractario 8. Por ello, la introducción de oxígeno en el acero fundido desde la lanza 10 no aumenta sustancialmente la tasa de erosión de este revestimiento.

5 Análogamente al afino AOD convencional del acero inoxidable, la reacción entre oxígeno y carbono en el acero fundido entra en competencia con reacciones indeseables entre los elementos de aleación (tales como el cromo) y el oxígeno para formar óxidos. Dado que el ferrocromo tiene un contenido importante de carbono, su adición al acero fundido introduce carbono al mismo tiempo que se está eliminando éste. A dicho respecto, el método según la invención es diferente de una operación de AOD convencional. Según esto, se prefiere interrumpir la adición del ferrocromo antes del final de la operación de afino. Típicamente, el ferrocromo se introduce durante un período que  
10 tiene una duración no superior al 75% de la duración total del paso de afino en el convertidor 2. Una vez que se interrumpe la introducción del ferrocromo, los niveles de carbono en el convertidor 2 disminuirán con relativa rapidez, y en este paso es importante ajustar la relación molar de oxígeno a gases diluyentes tales como argón y nitrógeno que se introducen en el metal fundido a fin de reducir la presión parcial de oxígeno. El hacerlo así ayuda a favorecer la oxidación del carbono con respecto a la oxidación del cromo.

15 Con objeto de evaluar los parámetros de operación típicos para el paso de afino del método según la presente invención, la operación del convertidor 2 ha sido modelizada por los autores de la invención utilizando un paquete de software Metsim comercial. Los resultados de la modelización se presentan a continuación. Los mismos se refieren al afino de un lote de 150 toneladas de acero. En la realización del trabajo de modelización, se observaron las restricciones siguientes.  
20

No se permitió nunca que el caudal total desde las toberas sumergidas excediera de 6800 Nm<sup>3</sup>/h.

25 No se permitió que las temperaturas máximas excedieran significativamente de 1708°C.

Se supuso que la lanza era de un tamaño que puede suministrar un caudal máximo de gas de 6000 Nm<sup>3</sup>/h. (Este caudal está dentro del campo de las lanzas convencionales.)

30 Se modelizaron tres regímenes operativos diferentes. Éstos fueron como sigue, expresándose todos los porcentajes en peso a menos que se indique lo contrario:

**Ejemplo 1:** Afino de una composición de acero inoxidable convencional (18% en peso de cromo; 8% en peso de níquel y menos de 0,1% en peso de carbono) con soplado alto de oxígeno molecular a una tasa de 6000 Nm<sup>3</sup>/h, pero con introducción mínima de ferrocromo y entonces sólo en forma de masas. En esta operación de afino, la concentración de carbono se reduce desde un valor inicial de 2,2% en peso al valor final inferior a 0,1% en peso.  
35

**Ejemplo 2:** Fabricación de acero inoxidable según la invención con introducción de oxígeno por medio de la lanza 10 a una tasa de 6000 Nm<sup>3</sup>/h y adición de 30 toneladas de ferrocromo de la composición siguiente: Fe - 36%; Cr - 53%; C - 6,5%; Si - 2,7%; resto – componentes menores e impurezas. La composición inicial del acero suministrado al convertidor se tomó como: Fe - 82%; Cr - 8,2%; Ni - 7,9%; C - 1,1% y Si - 0,18%.  
40

**Ejemplo 3:** Como en el Ejemplo 2, pero con la introducción de 45 en lugar de 30 toneladas de ferrocromo. La composición inicial del acero inoxidable se tomó como Fe - 90%; Ni - 8,8%; Cr - 0,18%; C - 0,35% y Si - 0,18%.

45 Mientras que en el Ejemplo 2 fue necesaria cierta adición de cromo durante el paso de fusión del método según la invención, en el Ejemplo 3 no fue necesaria dicha adición.

Los parámetros operativos relevantes se muestran a continuación en la Tabla 1. Estos parámetros operativos se muestran también en las Figuras 2 a 4, que son representaciones gráficas de los Ejemplos 1 a 3, respectivamente.  
50

**TABLA 1**

Duración de calentamiento (min)	Introducción de Oxígeno desde la lanza			Introducción de Oxígeno desde las toberas			Introducción de Argón desde las toberas			Introducción de Nitrógeno desde las toberas			Introducción de Ferrocromo		
	Tasa (Nm <sup>3</sup> /h)	Hora inicial (min)	Hora final (min)	Tasa (Nm <sup>3</sup> /h)	Hora inicial (min)	Hora final (min)	Tasa (Nm <sup>3</sup> /h)	Hora inicial (min)	Hora final (min)	Tasa (Nm <sup>3</sup> /h)	Hora inicial (min)	Hora final (min)	Adición total (toneladas)	Hora Inicial (min)	Hora Final (min)
Ejemplo 1	6000	4	19	3400	4	39	0	0	39	1700	4	19	2.3	5	5
	0	20	70	1750	40	59	5100	41	59	3400	20	40			
				0	60	70	2500	60	70	0	41	70			
Ejemplo 2	6000	4	33	3400	4	27	0	0	33	3400	4	33	30	5	34
	0	34	60	1700	28	50	5100	34	50	0	34	60			
				0	51	60	2500	51	60						
Ejemplo 3	6000	4	34	3400	4	10	0	0	34	3400	4	10	45	5	34
	0	35	59	5100	11	26	5100	35	48	1700	11	26			
				1700	27	49	2500	50	59	5100	27	34			
				0	50	59				0	35	59			

Las composiciones metalúrgicas finales obtenidas en cada uno de los Ejemplos 1 a 4 se resumen a continuación en la Tabla 2.

**Tabla 2**

	Ejemplo 1	Ejemplo 2	Ejemplo 3
%C a los 45 mins	0,24	0,17	0,15
Temp °C a los 45 mins	1683	1702	1688
Temp Max	1699	1711	1701
%C Final	0,09	0,09	0,1
% Cr Final	18,8	18,3	17,8
% Ni Final	8,4	8,6	8,5
% Mn Final	1,3	1,2	1,2
Temp °C Final	1651	1662	1638
Tiempo de Soplado	69	60	58

5

Una comparación de los resultados obtenidos se muestra a continuación en la Tabla 3.

**Tabla 3**

	Tiempo de Soplado Mins	%C en el Sangrado	%Cr	Temp de Sangrado	O2 Total desde las toberas Nm3	O2 Total desde la lanza Nm3	O2/t total	N2/t	Ar/t	T max	Productividad, toneladas por min
Ejemplo 1	69	0,09	18,8	1651	2606	1600	27,3	10,3	13,7	1699	2,23
-Ejemplo 2	60	0,09	18,4	1662	2011	3000	33,4	11,3	12,4	1711	2,5
Ejemplo 3	58	0,1	17,8	1638	2380	3100	36,5	10,2	10,7	1701	2,58

10 Por los resultados expuestos en las Tablas se puede ver que, sorprendentemente, es posible reducir el tiempo total de soplado a medida que aumenta la cantidad de ferrocromo introducido en el acero fundido por medio de la lanza 10. Este resultado se consigue equilibrando adecuadamente el efecto endotérmico del ferrocromo particulado con la reacción exotérmica entre oxígeno y carbono. Así, las tasas totales de adición de oxígeno molecular son mayores cuando se añade ferrocromo que cuando no se añade éste. Las tasas relativas de adición de oxígeno molecular, nitrógeno y argón se ajustan a fin de mantener condiciones que favorecen la oxidación del carbono sobre la oxidación del cromo.

20 En lugar de ferrocromo, es posible utilizar un mineral como fuente de cromo para el acero inoxidable. Uno de estos minerales es la cromita, que es un óxido mixto de hierro y cromo. Dado que la reducción del óxido de cromo es endotérmica, las altas tasas de inyección que se requerirían para permitir que todo el cromo se añada al acero durante el paso de afino hacen deseable añadir combustible y reductor adicionales. El combustible adicional se encuentra preferiblemente en forma de un material sólido co-inyectado con la cromita. El combustible adicional puede ser un material carbonoso particulado. Asimismo, es deseable introducir uno o más desoxidantes tales como ferrosilicio y ferroaluminio para facilitar la reducción del óxido de cromo a cromo metálico. La reducción endotérmica del óxido puede compensarse al menos parcialmente aumentando la tasa específica de suministro de oxígeno para aumentar la tasa de generación de calor asociada con la descarburación. Como consecuencia, en tales métodos 25 alternativos conforme a la invención sigue siendo posible operar el horno de arco eléctrico mencionado anteriormente en condiciones que dan lugar a una escoria que se puede conformar en una espuma.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de fabricación de acero inoxidable, que comprende los pasos de:

- a) fundir una carga de acero en un horno de arco eléctrico;
- b) afinar en un convertidor el acero fundido resultante al menos en parte por soplado de oxígeno molecular en el acero fundido desde una lanza situada por encima de la superficie del acero fundido; y
- c) durante el paso de afino, introducir desde la lanza en el acero fundido al menos un primer material particulado metalúrgicamente aceptable seleccionado de cromo metálico, aleaciones que contienen cromo y minerales de cromo;

en donde el acero se funde en condiciones de escoria espumosa, y en donde no se añade cantidad alguna de cromo metálico, aleación que contiene cromo o mineral de cromo a la carga de acero que se funde en dicho paso (a).

2. Un método según la reivindicación 1, en donde el oxígeno molecular es expulsado desde la lanza a una velocidad supersónica.

3. Un método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde dicho primer material particulado se transporta a la lanza en un gas portador.

4. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la lanza comprende un primer tubo para expulsar el oxígeno molecular y un segundo tubo para expulsar dicho primer material particulado.

5. Un método según la reivindicación 4, en donde los tubos primero y segundo son coaxiales, rodeando el primer tubo al segundo tubo.

6. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el oxígeno molecular crea una región localizada fuertemente sobrecalentada en el acero fundido en la cual se introduce el primer material particulado.

7. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual dicho primer material particulado comprende óxido de cromo.

8. Un método según la reivindicación 7, en el cual se introduce en el acero fundido por medio de la lanza un segundo material particulado que comprende una mezcla de carbono y al menos un agente desoxidante.

9. Un método según la reivindicación 8, en el cual el agente desoxidante es ferrosilicio, ferromanganeso, aluminio o ferroaluminio.

10. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual dicho primer material particulado comprende ferrocromo.

11. Un método según la reivindicación 10, en donde el paso de afino comprende una primera parte en la cual la totalidad de dicho primer material particulado se introduce en el acero fundido, y una segunda parte en la cual no se introduce en el acero fundido cantidad alguna del primer material particulado.

12. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye adicionalmente el paso de introducir en el acero fundido al menos un tercer material particulado desde la lanza, en donde dicho tercer material particulado se selecciona de níquel metálico, aleaciones que contienen níquel, minerales de níquel, molibdeno metálico, aleaciones que contienen molibdeno y minerales de molibdeno.

13. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye adicionalmente el paso de soplar en el acero fundido durante el paso de afino oxígeno molecular adicional por medio de al menos una tobera que termina por debajo del nivel del acero fundido, y al menos otro gas seleccionado de argón, nitrógeno y vapor, introduciéndose al menos parte del otro gas por medio de la misma tobera o una tobera diferente del oxígeno molecular adicional.

14. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho primer material particulado está constituido por particulado finas que tienen un tamaño medio de partícula de 1 mm o menor.

15. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde en dicho paso (b) la tasa de introducción del primer y cualquier otro material particulado metalúrgicamente aceptable está equilibrada contra la

## ES 2 632 501 T3

tasa total de introducción del oxígeno molecular a fin de mantener el acero fundido a una temperatura no superior a 1710°C.

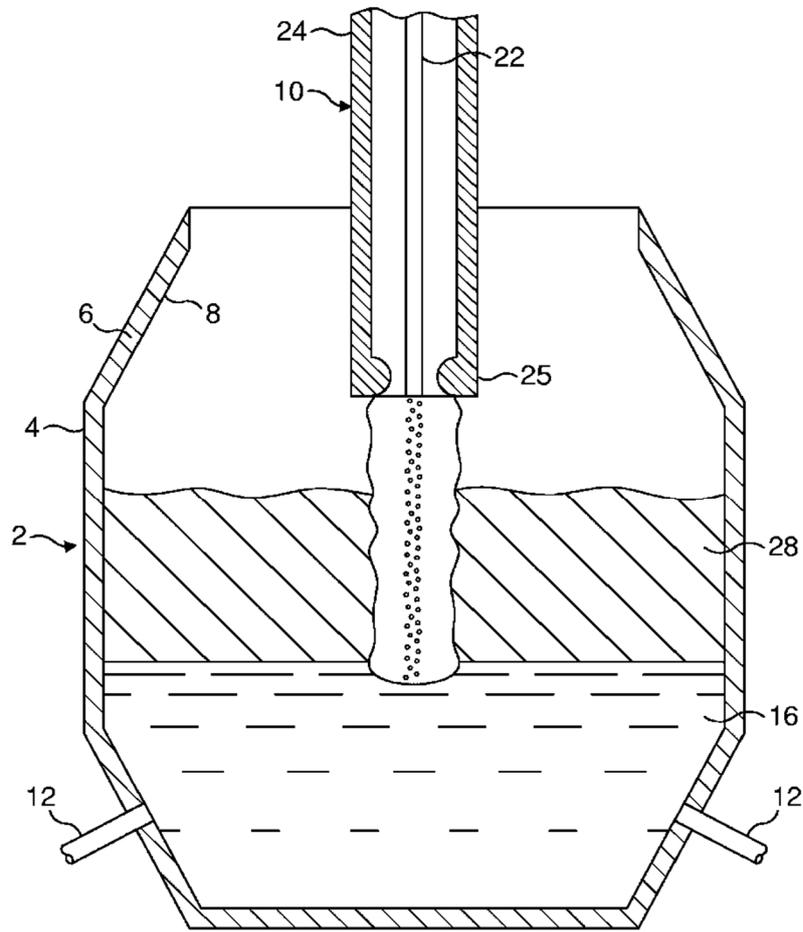


FIG. 1

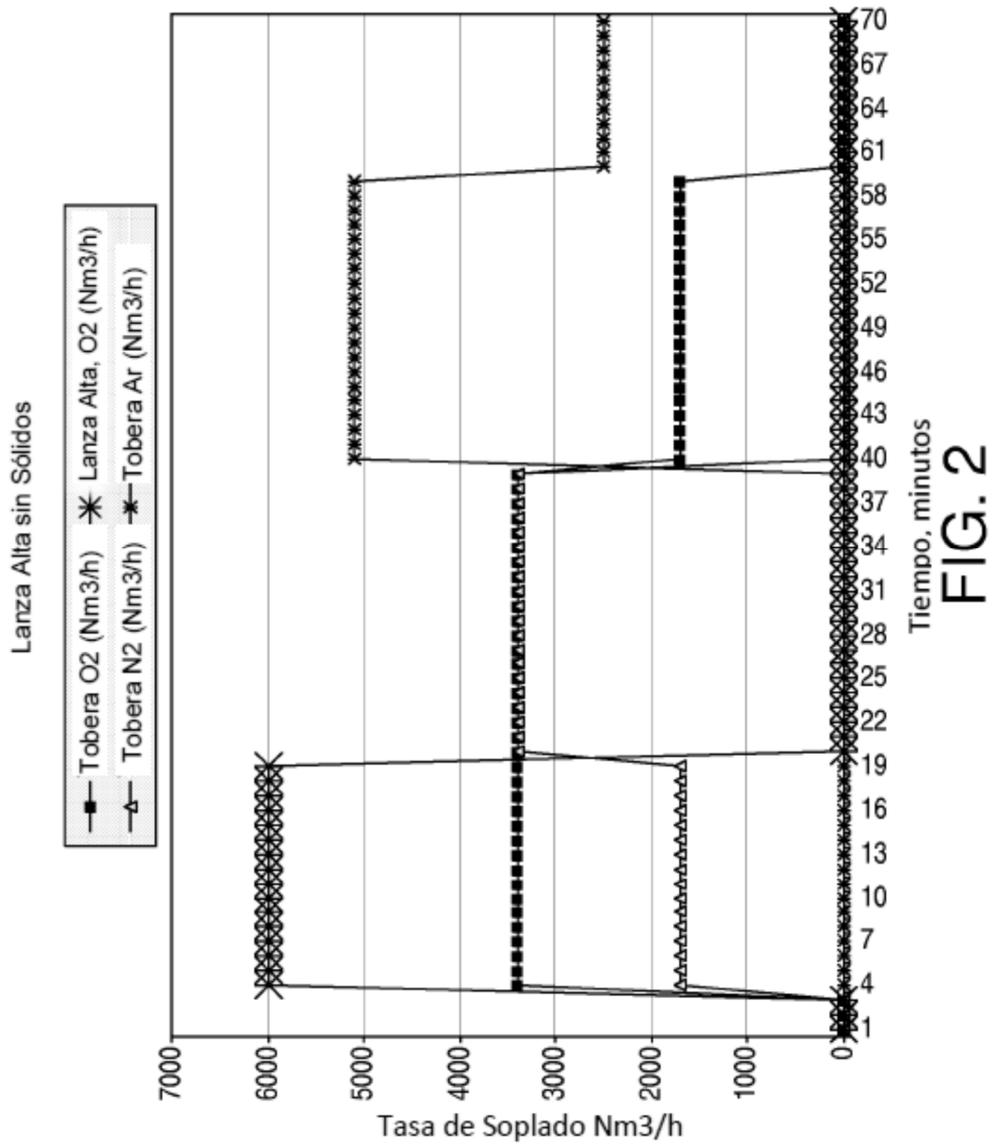


FIG. 2

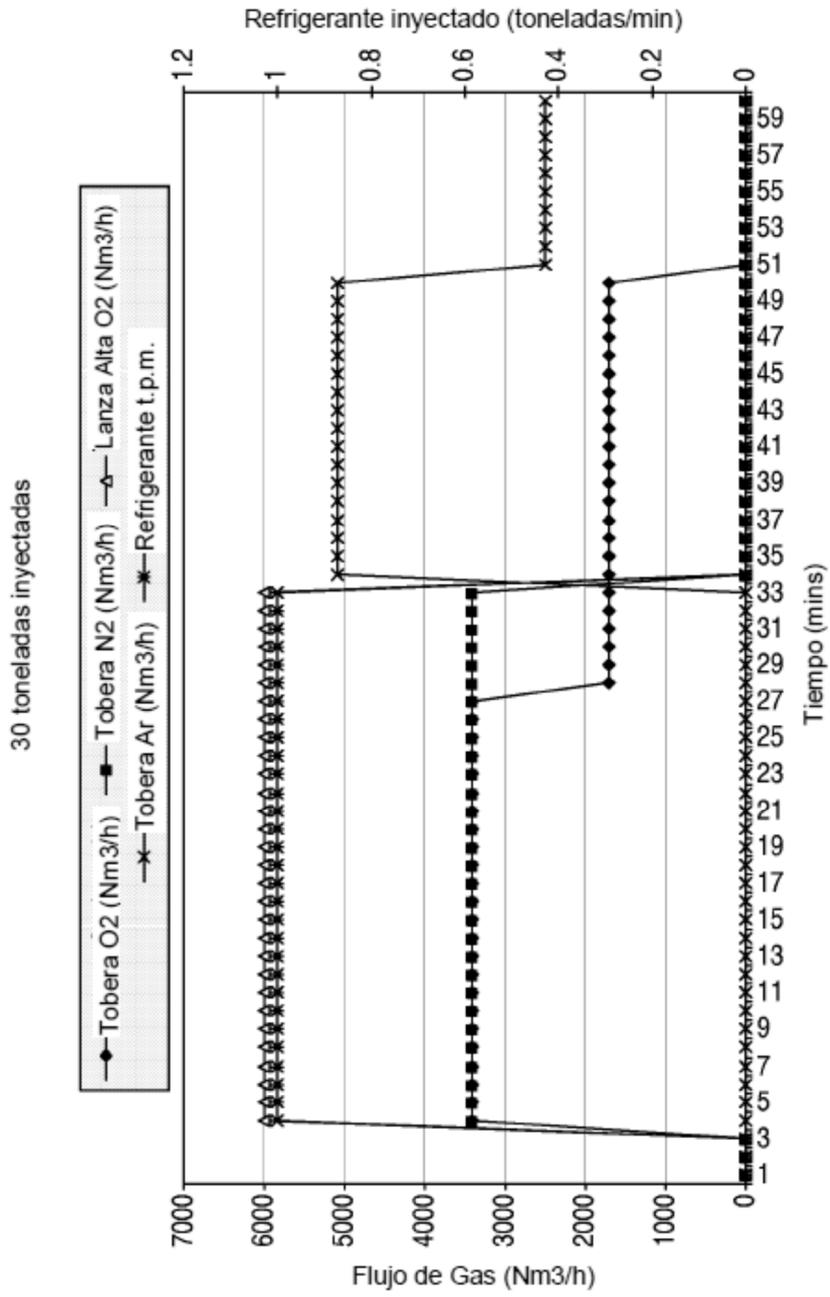


FIG. 3

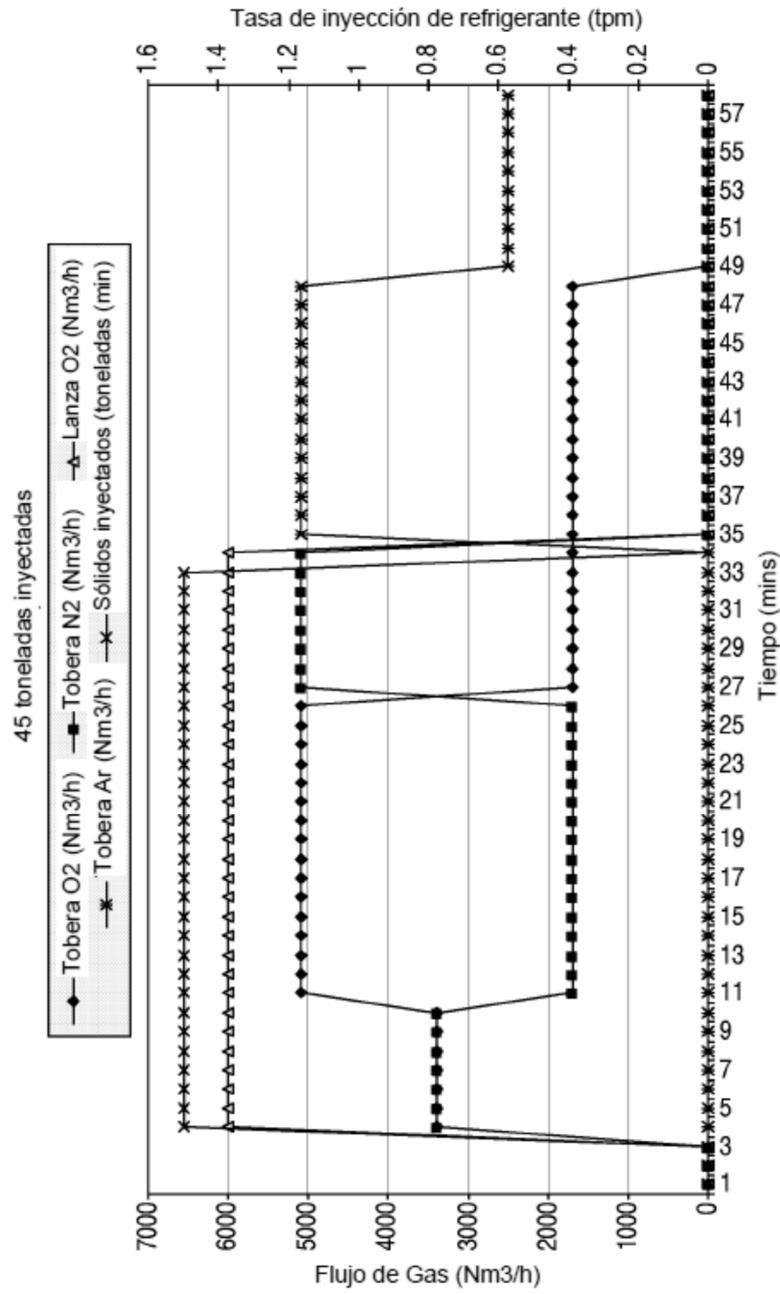


FIG. 4