

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 696 451**

51 Int. Cl.:

C21C 5/52 (2006.01)

F27B 3/08 (2006.01)

F27B 3/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.12.2014 PCT/RU2014/000996**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.07.2015 WO15102520**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.12.2014 E 14877013 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.08.2018 EP 3091092**

54 Título: **Procedimiento para producción de acero en un horno de arco eléctrico y horno de arco eléctrico**

30 Prioridad:

30.12.2013 RU 2013158488

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

15.01.2019

73 Titular/es:

**DOROFEEV, GENRIKH ALEKSEEVICH (100.0%)
ul. Stepanova 33 kv. 154
Tula 300001, RU**

72 Inventor/es:

**YANTOVSKIY, PAVEL RUDOL'FOVICH;
SMIRNOV, KONSTANTIN GENNADIEVICH;
YASTREBOV, IGOR' IVANOVICH;
PROTOPOPOV, ALEKSANDR ANATOL'EVICH y
ZINYAGIN, GENNADIY ALEKSEEVICH**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 696 451 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 producción de acero en un horno de arco eléctrico y horno de arco eléctrico

El grupo de invenciones se refiere a las operaciones siderúrgicas, y en particular a un procedimiento para producción de acero y a un diseño del horno del arco eléctrico para ello.

5 Se conoce en el estado de la técnica un procedimiento para producción de acero en una instalación de fusión en solera, principalmente en un horno de arco eléctrico. El procedimiento comprende un llenado del horno por capas con piedra caliza y material compuesto, que contiene materiales con contenido de óxido de hierro y de carbono, un llenado por capas de la carga de alimentación y la fusión de la misma. En este caso se mezcla con piedra caliza y se carga una proporción del material con contenido de carbono del orden de 10-20% de la cantidad requerida para la
10 reducción completa de los óxidos de hierro. El resto se mezcla con material de óxido de hierro y se carga también. Después de la fusión de 1/3-1/2 de la cantidad total de carga de alimentación metálica se hace pasar aquí sobre la solera del horno monóxido de carbono gaseoso [memoria de patente RU 2285726 del 2 de marzo de 2005, CIP C21C 5/52, publicada el 20 de octubre de 2006]. De este modo se hace posible regular rápidamente la potencia térmica del horno, el proceso de calentamiento y de fusión de la carga de alimentación, así como la formación de escoria. Esto se logra gracias a los siguientes pasos de procedimiento: descomposición adicional de los óxidos de hierro que están contenidos en la carga de alimentación y en la escoria; espumado de la escoria y apantallamiento de los arcos eléctricos; poscombustión del monóxido de carbono en la atmósfera del horno y mezcla de la masa fundida con formadores de escoria. Como resultado, se incrementa la eficiencia térmica de los hornos de arco eléctrico y el rendimiento de metal líquido, y se simplifica el lecho de fusión de la masa fundida.

20 El procedimiento sirve como alternativa al procedimiento acreditado de producción de acero, y utiliza materiales compuestos sintéticos. Existen dudas sobre la posibilidad de lograr el resultado técnico pretendido. En particular, el CO es un agente reductor débil en hornos de solera. Por ello, se presume un consumo considerablemente más alto. La oxidación adicional del hierro, debido al contacto con la atmósfera oxidante del horno, lo convierte en una forma oxidada. Por lo tanto, en esta invención no se alcanza la reducción declarada del consumo de energía eléctrica.

25 Los procedimientos conocidos para la producción de acero en un horno de arco eléctrico incluyen los siguientes pasos: comprobación del horno, llenado de carga de alimentación en forma de chatarra, reajuste y reemplazo de electrodos, aportación de corriente eléctrica, combustible, oxígeno gaseoso, aportación de un agente carburizante y fundentes, fusión de la carga de alimentación metálica, fase de oxidación, calentamiento y descarburación del baño de metal, vaciado del metal y descarga de la escoria desde el horno a la cuchara [véase A. N. Morosov: "Moderne Stahlerzeugung in Lichtbogenöfen" (Producción moderna de acero en hornos de arco), 2ª edición, Chelyabinsk: "Metallurgie", 1987, pág. 41].
30 "Metallurgie", 1987, pág. 41].

Una de las modificaciones del procedimiento para la producción de acero en un horno de arco eléctrico prevé el uso de material de óxido-carbono (abreviado MOC) como componente de la carga de alimentación metálica, junto con chatarra y en combinación con la misma, con el fin de reemplazar el hierro fundido, la chatarra de acero y parcialmente el agente carburizante [véase Yu. A. Bondarev, G. N. Yelansky, V. P. Lemyakin *et al.* "Erfahrung der Schmelzföhrung in elektrischen Öfen unter Anwendung von Oxid-Kohlenstoff-Briketts" (Ensayo de conducción de la fundición en hornos eléctricos, utilizando briquetas de óxido-carbono), *Gesammelte Schriften des 5. Stahlschmelzerkongresses* (Trabajos compilados del quinto congreso de operadores siderúrgicos). M.: Chermetinfotmatsiya, 1999. págs. 218-219, y E. Agueyev, V. S. Antonov, V. K. Babich *et al.* "Oxid-Kohlenstoff-Briketts: Anwendungspraktik in Lichtbogenöfen" (Aplicación práctica de briquetas de óxido-carbono en hornos de arco eléctrico). *Gesammelte Schriften des 6. Stahlschmelzerkongresses* (Trabajos compilados del sexto congreso de operadores siderúrgicos). M.: Chermetinfotmatsiya, 2001. págs. 237-240].
35
40

El material de óxido-carbono (MOC) consiste en mezclas aglomeradas o compactadas de materias con contenido de carbono (coque, grafito, diversos carbones, residuos con contenido de carbono de la fabricación metalúrgica, química y otras) y agentes oxidantes sólidos (concentrado, superconcentrado, partículas de polvo de mineral de hierro, restos de tamizado de carbonilla sinterizada, y mezclas de los mismos), que se preparan mediante briqueteado, aglomeración y otros procedimientos de compactación.
45

El uso de MOC en la producción de acero en un horno de arco eléctrico posee numerosas ventajas. Entre ellas se mencionarán sobre todo las siguientes:

- 50
- aprovechamiento completo de la herrumbre que se origina en la producción;
 - sustitución parcial de hierro fundido y chatarra;
 - menor consumo de agente carburizante;
 - contenido reducido de fósforo, azufre y metales no férreos;
 - reducción del coste del acero.

5 Por lo tanto, el procedimiento para producción de acero en un horno de arco eléctrico comprende la comprobación del espacio de trabajo del horno, el llenado del horno con la carga de alimentación, que consiste en chatarra y material de óxido-carbono aglomerado, y, eventualmente, el llenado adicional con carga de alimentación, el reajuste de los electrodos y el reemplazo de los mismos, la aportación de corriente eléctrica, combustible, agente carburizante, fundentes, oxígeno gaseoso, la fusión de la carga de alimentación, el calentamiento del metal y la descarbonación del baño metálico (la denominada fase de oxidación), el vaciado del metal y la descarga de la escoria fuera del horno. Se ha de considerar este procedimiento para producción de acero, en su naturaleza técnica, como el estado de la técnica más cercano al procedimiento reivindicado.

10 Las principales deficiencias de este procedimiento son el elevado consumo específico de electricidad durante la fase de fusión y el bajo rendimiento en hierro, así como la cantidad limitada del MOC aportado, en concreto 5% en promedio, como máximo, de la masa total de la carga de alimentación metálica utilizada para la fusión (carga férrea/lecho de fusión). La razón de ello es que el MOC se introduce junto con la chatarra en la parte inferior del espacio de trabajo del horno de arco eléctrico.

15 El hecho de situar los trozos de MOC próximos a la solera del horno, bajo una gruesa capa de la carga de alimentación metálica y lejos de la zona de los arcos eléctricos, dificulta la transmisión de calor a las capas más profundas de la carga de alimentación, donde se encuentra el MOC. Esto retrasa la fusión del MOC e incrementa el consumo de electricidad.

20 La vigorosa fusión del MOC comienza después de que se ha formado el baño de metal líquido en la solera del horno. Una parte del MOC no llega a fundirse a tiempo y aflora en la superficie del baño de metal, disolviéndose esta parte del MOC en la escoria. Debido a la proporción acrecentada de óxido de hierro, esta escoria tiene propiedades oxidantes y una temperatura de calentamiento relativamente baja. Estos factores dificultan la reducción del hierro, a partir de los óxidos de hierro, por medio del carbono contenido en el MOC. Con ello se reducen la extracción de hierro desde el MOC y el rendimiento en hierro fundido.

25 En conjunto, estos factores aumentan el consumo de electricidad y rebajan el rendimiento en hierro. Por esta razón el procedimiento para producción de acero utilizando MOC, en hornos de arco eléctrico, no ha tenido una difusión apreciable. Al mismo tiempo, esto ha conducido a una brusca restricción del consumo de MOC para uso en la producción de acero en hornos de arco eléctrico. La tarea a solucionar por la primera invención del grupo de invenciones, y el resultado técnico a alcanzar, son la disminución del consumo específico de electricidad en la fusión de la carga de alimentación metálica y el incremento del rendimiento en hierro a partir del material de óxido-carbono, así como el aumento de la fracción relativa de MOC, desde el punto de vista de las relaciones cuantitativas, en la masa total de la carga de alimentación.

35 Para solventar la tarea planteada y lograr el resultado técnico exigido, se utiliza el procedimiento según la reivindicación independiente 1 para producción de acero en un horno de arco eléctrico. Este procedimiento comprende los pasos siguientes: la comprobación del espacio de trabajo del horno, la carga con material de alimentación que consiste en chatarra y material de óxido-carbono aglomerado, y eventualmente el llenado adicional con material de alimentación, el reajuste y reemplazo de electrodos, la aportación de corriente eléctrica, combustible, agente carburizante, fundentes, oxígeno gaseoso, la fusión del material de alimentación, el calentamiento del metal y la descarbonación del baño de metal, el vaciado del metal y la descarga de la escoria fuera del horno. Según la invención, antes del comienzo de la fusión se introduce una parte del material de óxido-carbono, en una cantidad de 40 10-90% de la cantidad total de MOC consumida en cada fusión, de una vez al mismo tiempo que la chatarra, con la primera porción de carga de alimentación metálica. La cantidad restante del material de óxido-carbono se agrega en el transcurso del proceso de fusión del acero a la carga de alimentación fundida, con un ritmo específico de suministro de 0,5-10 kg/minuto por 1 MVA de potencia de transformador del horno de arco eléctrico. En este caso el tamaño de grano de los trozos individuales de material de óxido-carbono se selecciona en el intervalo entre 5 y 80 45 mm.

Además:

- el material de óxido-carbono se deja caer en la zona central del horno, que es adyacente a la zona de los arcos eléctricos y está limitada a la dimensión máxima $D = (d_{TK} + 3,5 d_{EI})$, donde d_{TK} es el diámetro del círculo de electrodos y d_{EI} es el diámetro de los electrodos;
- 50 - la relación entre carbono y oxígeno, que es aportado por el agente oxidante sólido del material de óxido-carbono y/o está contenido en óxidos de hierro, se selecciona en el intervalo de $0,15 \leq C/O \leq 5,00$ con las siguientes proporciones de materias de partida (en % en masa):

agente oxidante sólido: 40-95;

agente carburizante: 5-60;

55 agente aglutinante hasta el 100%, en una cantidad de 1-10% de la masa total del agente carburizante y el agente oxidante sólido;

- el material de óxido-carbono contiene adicionalmente partículas metálicas con contenido de hierro, en una cantidad de 5-30% de la masa total del material;

5 - el material de óxido-carbono contiene adicionalmente formador de escoria, en una cantidad de 0,1-10,0% de la masa total del material. Como formador de escoria se utilizan aquí óxidos y/o fluoruros de aquellos elementos que poseen una afinidad hacia el oxígeno mayor que el hierro, a una temperatura superior a 1.550°C; se trata, por tanto, de los siguientes elementos: Ca, Na, K, Ba, Al, Ti, Zr, Si, Mn, V, Cr y B.

Para implementar el presente procedimiento para la producción de acero se requiere un equipo correspondiente, en concreto un horno de arco eléctrico según la reivindicación independiente 5.

10 Un horno de arco eléctrico típico [véase Wikipedia, <http://ru.wikipedia.org/wiki/>, término "Lichtbogenofen" (horno de arco eléctrico)] consiste en un baño de fusión (espacio de trabajo), un regulador de potencia del arco y dispositivos auxiliares de la tecnología de procesos para abrir (o cerrar) el techo del horno, descargar la escoria y vaciar el metal.

15 El proceso de fusión se realiza en el espacio de trabajo, que está delimitado por arriba por una bóveda en forma de cúpula, por abajo por una solera de forma esférica y lateralmente por paredes. El encofrado refractario de la solera y las paredes está encerrado exteriormente por una cuba metálica. La bóveda amovible puede estar construida con ladrillos refractarios que se apoyan sobre un anillo de soporte, o bien puede estar construida, al igual que las paredes, con paneles enfriados por agua. Los electrodos conductores de corriente se introducen a través de tres orificios situados simétricamente en la bóveda del espacio de trabajo. Estos electrodos pueden desplazarse arriba y abajo con ayuda de dispositivos especiales. El horno funciona normalmente con corriente alterna trifásica, pero también existen hornos alimentados con corriente continua. El moderno horno potente de arco eléctrico se utiliza principalmente como aparato para fundir la carga de alimentación y obtener un producto intermedio líquido, que posteriormente se continúa tratando para conseguir la composición y grado de pureza requeridos, mediante procesos de metalurgia secundaria en una cuchara.

25 Después de inspeccionar el horno de arco eléctrico y reparar los puntos del revestimiento dañados (la "comprobación"), se inicia el proceso metalúrgico en particular con la carga. En los hornos modernos, la aportación de la carga de alimentación se realiza desde arriba, utilizando una cesta de carga (cesta colocadora, canasta). Una vez completada la carga, se insertan los electrodos en el horno y se conecta el interruptor disyuntor de alta tensión. Comienza con ello la fase de fusión. La potencia suministrada se controla variando la posición del electrodo (la longitud del arco eléctrico) o la tensión aplicada al electrodo. Después de la fusión se forman en el horno una capa de metal y una capa de escoria. La escoria es espumada con ayuda de materias con contenido de carbono, con el fin de cubrir los arcos, mejorar la facilidad de extracción de la escoria y reducir la pérdida de metal por combustión.

30 Después se descarga la escoria del horno, se vacía el acero líquido en una cuchara de acería, a través de un orificio de sangrado y un canal de sangrado, inclinando el espacio de trabajo (o, si el horno posee una descarga por el fondo, esto se realiza a través de ella). Una ventana de trabajo, que se puede cerrar con una compuerta, sirve para vigilar el proceso de fusión (medir la temperatura del metal y tomar muestra del acero fundido para analizar el metal). La ventana de trabajo se puede utilizar además para añadir formadores de escoria y aditivos (en hornos de pequeño tamaño). En los hornos modernos de gran capacidad, los formadores de escoria son agregados durante el proceso de fusión a través de una abertura especial en el techo, mediante un sistema de cinta transportadora. Los materiales con contenido de carbono destinados al espumado de la escoria se añaden, o bien en porciones a través del techo, o mediante quemadores de inyección en forma de chorros de gas. Antes y durante el sangrado se agregan aditivos aleadores y agentes apaciguadores, y al retirar la escoria del horno también se agregan formadores de escoria a la cuchara de acería.

45 Los hornos de arco eléctrico conocidos presentan las siguientes deficiencias: notable sobrecalentamiento local bajo los electrodos; difícil mezcladura y equilibrado de la composición química del metal; generación significativa de productos de combustión y elevada emisión de ruido durante el funcionamiento del horno. Sin embargo, el indicador clave del funcionamiento ineficiente del horno es su concentración local de energía excesivamente alta. Cuanto más potente es el horno, mayor es esta concentración de energía. Además, los hornos existentes no están equipados para una aportación adicional específica del material de óxido-carbono al baño de metal aparte del llenado inicial, esto es, como componente de la chatarra.

50 La tarea a resolver por la segunda invención, y el resultado técnico a alcanzar, son el desarrollo de un dispositivo para implementar el procedimiento reivindicado para la producción de acero. Por consiguiente, es misión de la invención reducir el consumo específico de electricidad para fundir la carga de alimentación metálica y aumentar el rendimiento en hierro a partir del material de óxido-carbono, así como incrementar su proporción cuantitativa en la masa total de la carga de alimentación.

55 Para solventar la tarea planteada y lograr el resultado técnico exigido, se utiliza un horno de arco eléctrico. El horno de arco eléctrico contiene una cuba de horno con revestimiento altamente refractario, que tiene una solera y paredes, así como aberturas para la inserción de electrodos y adición de materiales volcables, y un techo abovedado amovible, con brazos para electrodos y una unidad de electrodos. Según la invención, el horno está configurado de manera que se pueda implementar el procedimiento según las reivindicaciones 1 a 5. Las paredes de la cuba del

horno están dotadas en este caso con al menos tres aberturas repartidas a intervalos en su perímetro, para introducir el material de óxido-carbono en la zona central del horno. Estas aberturas están situadas 0,2-1,0 m más profundas que la marca de nivel máximo de la cuba del horno. Además, las aberturas para añadir material de óxido-carbono a la zona central del horno están repartidas a intervalos en el perímetro de las paredes, estando ventajosamente dispuestas estas aberturas, en cada caso, entre dos electrodos vecinos respectivos.

Las invenciones se explican con mayor detalle por medio de los dibujos. En estos:

la Figura 1 muestra una vista general del horno de arco eléctrico para implementar el procedimiento para producción de acero utilizando el material de óxido-carbono,

la Figura 2 muestra un corte A-A de la Figura 1: ubicación preferida de las aberturas, con respecto a los electrodos, para añadir material de óxido-carbono a la zona central del horno.

Por lo tanto, el procedimiento para producción de acero se lleva a cabo en un horno de arco eléctrico, ventajosamente en un horno de arco eléctrico hecho funcionar con corriente alterna trifásica, y comprende: la comprobación del espacio de trabajo del horno, la carga (o llenado) con carga de alimentación, que consiste en chatarra y material de óxido-carbono aglomerado, eventualmente una o varias aportaciones adicionales de carga de alimentación, el reajuste y reemplazo de electrodos, la aportación (suministro) de corriente eléctrica, combustible, agente carburizante, fundentes, oxígeno gaseoso, la fusión de la carga de alimentación, el calentamiento del metal y la descarburación del baño de metal (la denominada fase de oxidación), el vaciado del metal y la descarga de la escoria fuera del horno. En este caso, una parte del material de óxido-carbono, en una cantidad de 10-90% de su cantidad total consumida en cada fusión, es cargada de una vez al mismo tiempo que la chatarra, con la primera porción de carga de alimentación metálica antes del comienzo de la fusión. La cantidad restante del material de óxido-carbono se agrega en el transcurso del proceso de fusión del acero a la carga de alimentación fundida, con un ritmo específico de suministro de 0,5-10 kg/minuto por 1 MVA de potencia de transformador del horno de arco eléctrico. En este caso el tamaño de grano de los trozos individuales de material de óxido-carbono se selecciona en el intervalo entre 5 y 80 mm.

El material de óxido-carbono se introduce en la zona central del horno, que es adyacente a la zona de los arcos eléctricos y está limitada a la dimensión máxima $D = (d_{TK} + 3,5 d_{EI})$, donde d_{TK} es el diámetro del círculo de electrodos y d_{EI} es el diámetro de los electrodos;

En otras palabras, la zona central del horno consiste en un círculo de diámetro D trazado en torno a los electrodos. Por regla general, esta zona abarca como máximo 30% del área de sección transversal del espacio de trabajo del horno.

La relación entre carbono y oxígeno, que es aportado por el agente oxidante sólido del material de óxido-carbono y/o está contenido en óxidos de hierro, se selecciona en el intervalo de $0,15 \leq C/O \leq 5,00$ con las siguientes proporciones de materias de partida (en % en masa):

agente oxidante sólido: 40-95;

agente carburizante: 5-60;

agente aglutinante hasta el 100%, en una cantidad de 1-10% de la masa total del agente carburizante y el agente oxidante sólido.

Esto significa que el contenido respectivo del MOC y su consumo en cada fusión se establecen en función del tipo de acero a producir. Esto es posible ahora gracias a numerosos experimentos que han permitido una visión de conjunto sobre la optimización del empleo de MOC en procesos metalúrgicos durante la producción de acero por el procedimiento de arco eléctrico. Se ha logrado erigir, sobre estos fundamentos, una base científica correspondiente.

Como agente oxidante sólido se utilizan concentrado de mineral de hierro, herrumbre, mineral de hierro, aglomerado, hierro parcialmente reducido por el procedimiento de reducción directa, y/o sus mezclas. Como reaccionante con contenido de carbono o agente carburizante se emplean coque, grafito, carbón vegetal, partículas de carbón, termoantracita y sus mezclas. Se pueden emplear como agente aglutinante el vidrio soluble, diversos tipos de cemento, melaza, adhesivo celulósico, bentonita y sus mezclas, así como materias biológicas (harina, etc.).

El material de óxido-carbono puede contener partículas metálicas con contenido de hierro, en una cantidad de 5-30% de la masa total del material. Las partículas metálicas actúan como catalizador para la reducción del hierro a partir de óxidos de hierro, utilizando carbono como componente del agente carburizante.

De manera adicional, el material de óxido-carbono puede contener también formador de escoria en una cantidad entre 0,1 y 10,0% de la masa total del material. Como formador de escoria se utilizan en este caso óxidos y/o fluoruros de aquellos elementos que poseen una afinidad hacia el oxígeno mayor que el hierro, a una temperatura superior a 1.550°C, a saber, Ca, Na, K, Ba, Al, Ti, Zr, Si, Mn, V, Cr y B.

El horno de arco eléctrico para llevar a cabo el presente procedimiento de producción de acero contiene una cuba 3

de horno con aberturas 4 para insertar electrodos 5, y una abertura 6 para añadir materiales volcables (que intervienen en el procedimiento para producción de acero) y un techo amovible abovedado 7. La cuba 3 de horno está encofrada con un revestimiento altamente refractario que forma una solera 1 (solera de horno) y paredes 2 de la cuba 3 de horno. El techo amovible 7 está dotado de brazos para electrodos (no representados) y una unidad de electrodos. La unidad de electrodos consta de tres electrodos 5. En este caso se han practicado al menos tres aberturas 8 repartidas a intervalos en el perímetro de las paredes 2 de la cuba 3 del horno, para introducir el material de óxido-carbono en la zona central 9 del horno. Las aberturas 8 se sitúan aquí de 0,2 a 1,0 m más profundas que la marca 10 de nivel máximo de la cuba 3 del horno. Se recomienda repartir las aberturas 8 en el perímetro de las paredes 2 de manera que en cada caso estas aberturas queden ventajosamente entre dos electrodos 5 vecinos respectivos (o que su orientación corresponda a la posición entre dos electrodos 5 vecinos). Esta solución está prevista para evitar que las briquetas de material de óxido-carbono introducidas "bombardeen" los electrodos 5, ya que en ciertas circunstancias las briquetas podrían dañar los electrodos. Además, se debe evitar llenar el horno con MOC más allá de la zona central 9, que está limitada a una región con diámetro D. De lo contrario, se requerirá energía adicional para fundir dicho MOC. Esto conduce al sobrecalentamiento de la región que se encuentra directamente adyacente a los electrodos 5.

Análisis de las características distintivas esenciales de las invenciones

La zona central 9 del horno de arco eléctrico se diferencia de las restantes regiones del espacio de trabajo por una ingente cantidad de energía térmica emitida, por su concentración máxima de energía y por un muy alto nivel de temperatura. En las últimas generaciones de hornos modernos, la concentración de energía alcanza aproximadamente 10 MVA/m³. El nivel de temperatura asciende a aproximadamente 4.000-15.000 K y, por tanto, supera sustancialmente la temperatura de fusión de la carga de alimentación de partida y la del metal líquido que constituye el producto final (como máximo, 1.700°C). Debido a estos factores, el curso de la fusión de todos los materiales cargados, incluidos los trozos de MOC, difiere radicalmente entre la zona 5 de los arcos eléctricos y las zonas situadas fuera de dicha zona 5 de arcos eléctricos y en los sectores periféricos del horno.

En el primer caso, la fusión se realiza con exceso de energía y a temperaturas muy altas, que superan sustancialmente las temperaturas de fusión de las materias de partida y del acero líquido que constituye el producto final. Algunas de las consecuencias son, en este caso, la absorción incompleta del calor de la energía suministrada, considerables pérdidas de calor y un consumo excesivo de electricidad.

En el segundo caso, el paso de los componentes sólidos de la carga de alimentación al estado líquido, y la formación de metal líquido y escoria, se realizan en condiciones de déficit de calor ("hambre de calor") y a temperaturas de trabajo que no exceden la temperatura de sangrado del metal y la escoria (1.700°C).

A diferencia del estado de la técnica, el procedimiento propuesto se basa en incorporar en la carga antes del comienzo de la fusión, junto con la chatarra, una parte generalmente pequeña del MOC. El resto del MOC se introduce en la zona de los arcos eléctricos durante el proceso de fusión, cuando el horno absorbe la mayor cantidad de corriente. Los materiales aportados aumentan significativamente la capacidad de absorción de corriente de la carga de alimentación, y con ello reducen las pérdidas de calor y también el consumo de electricidad.

La evolución particular de la energía (tecnología energética) en la zona central del horno, combinada con el distinto modo de proceder en el llenado, determinan la fusión extraordinariamente rápida de los fragmentos sólidos de MOC y su transformación en una fase líquida. Por esta causa, los óxidos de hierro del agente oxidante sólido como componentes principales del MOC, y el carbono como componente del agente carburizante, reaccionan con una velocidad específica muy elevada, de aproximadamente 5-40 kg/(s·m³). Los productos resultantes de esta reacción de oxidación (del carbono) y de reducción (del hierro) son hierro metálico y monóxido de carbono.

El hierro metálico fluye entonces hacia el baño de metal, e incrementa con ello la afluencia de hierro. Se trata aquí del denominado "hierro primario", sin mezcla ninguna. El monóxido de carbono sirve como fuente de calor adicional para el horno, gracias a la combustión posterior de CO para dar CO₂, con lo que se reduce el consumo específico de electricidad en la fusión de la carga de alimentación metálica.

El calentamiento y la fusión del MOC tienen lugar en este caso gracias a la acumulación adicional de una parte del calor, que no ha sido aprovechada por la carga de alimentación debido a su capacidad limitada de absorción de energía y que, en principio, representa una pérdida de calor. Esta circunstancia origina una disminución del consumo específico de electricidad en la fusión de la carga de alimentación.

El procedimiento propuesto permite asimismo conseguir una reducción rápida y completa del hierro gracias a la interacción de óxidos de hierro y carbono en el MOC, y aumentar la extracción de hierro y también el rendimiento en hierro útil.

La fusión del MOC va acompañada en este caso de la formación de una fase líquida de escoria. Esto mejora el comportamiento del arco eléctrico y la estabilidad del aporte de energía al horno. La consecuencia de ello es un ahorro adicional de energía, debido a las menores pérdidas energéticas en el funcionamiento de los arcos.

Los hornos de arco eléctrico existentes tienen una denominada "quinta" abertura 6 en el techo del horno. Sirve para

añadir, durante el proceso de fusión, materiales volcables. La adaptación para efectuar la carga durante el proceso de fusión impone cambios en la construcción actual del horno de arco eléctrico, con el fin de posibilitar el aporte ininterrumpido y regular de los materiales, incluido el MOC, durante la operación de fusión. Para ello se propone introducir el MOC a través de tres o más aberturas 8 practicadas en las paredes 2, estando situadas estas aberturas 8 en la parte superior de la cuba 3 del horno, y en concreto a 0,2-1,0 m por debajo de la marca 10 de nivel máximo. Esto permite introducir el MOC desde el principio de la fusión, con cualquier densidad aparente de la chatarra, y también controlar el consumo de MOC en un rango más amplio y regular.

La principal peculiaridad de la fase de fusión en el horno de arco eléctrico reside en la cantidad máxima de energía eléctrica suministrada con el fin de fundir lo más rápidamente posible la carga de alimentación y acortar la duración de esta fase, que por otro lado ocupa la mayor parte del transcurso de la fusión electrotérmica. Los hornos de arco eléctrico, especialmente los de la última generación, presentan una elevada potencia específica de transformador de hasta 1.500 KVA por tonelada de acero. En consecuencia, se aporta a la carga de alimentación una considerable cantidad de energía eléctrica altamente concentrada. Esta cantidad excede significativamente la capacidad de la carga de alimentación sólida para acumular y absorber el calor. Debido a la capacidad limitada de la carga de alimentación para absorber la energía suministrada, una parte sustancial de la misma se gasta de manera irracional, y se consume en la evaporación parcial del metal, el sobrecalentamiento de la carga de alimentación, del metal y de los gases, así como en el aumento de la radiación térmica hacia el techo 7 y las paredes 2 del horno, etc. Estos factores incrementan la pérdida de calor y el consumo de electricidad, y reducen la eficiencia térmica del horno de arco eléctrico durante la operación de fusión.

El material de óxido-carbono incorporado a la carga de alimentación en el transcurso de la operación de fusión, llena los huecos (cavidades) dentro de la capa de la carga de alimentación en fusión, aumentando así su densidad aparente. Dado que el tamaño de grano del MOC es relativamente pequeño, este material presenta una mayor superficie de intercambio de calor si se compara con las grandes piezas de la carga de alimentación metálica. Además, las briquetas de MOC presentan, en comparación con la chatarra, formas más delgadas y, por lo tanto, tienen una velocidad de calentamiento más rápida y, en consecuencia, un menor tiempo de fusión. Debido a estos factores, el material de óxido-carbono aumenta la capacidad de acumulación de la carga de alimentación y su velocidad de fusión. Con ello se incrementa también el grado de absorción de la energía liberada durante el funcionamiento de los arcos y se reducen las correspondientes pérdidas de energía. Por consiguiente, también disminuye el consumo específico de electricidad y el tiempo de fusión.

Así, el MOC influye en el intercambio de calor en la zona de los arcos eléctricos, incrementándose la absorción del calor de los arcos eléctricos. Además de ello, el material de óxido-carbono tiene un efecto de enfriamiento adicional. Este se basa en la reacción química entre carbono y óxidos de hierro del MOC. Es esta una reacción endotérmica, y por naturaleza enfría adicionalmente la zona que contiene estas sustancias. Con ello se incrementa la velocidad de absorción del calor aportado a esta zona. En consecuencia, el uso del MOC según el procedimiento de fusión por arco eléctrico y su introducción en la zona central 9 del horno, conduce a que una parte del calor se derive a la reacción entre carbono y óxidos de hierro. De este modo se reduce la pérdida total de calor y se rebaja el consumo específico de electricidad. El efecto descrito está relacionado con el enfriamiento químico de la zona de los arcos eléctricos, y completa el efecto puramente físico del MOC sobre las condiciones de temperatura en esa zona, reforzándose el efecto de enfriamiento.

La reacción endotérmica está relacionada con la reacción de reducción del hierro a partir de sus óxidos por el carbono, y va acompañada de un importante gasto de calor. Sin embargo, el procedimiento reivindicado cubre este gasto calorífico con el calor tomado de la energía que sale del horno y que se considera como una pérdida. De este modo se evita el gasto calorífico adicional cuando se utiliza el MOC.

Los productos resultantes de la interacción entre el carbono y los óxidos de hierro contenidos en el MOC que se introduce durante la operación de fusión son hierro y monóxido de carbono. El hierro obtenido del MOC pasa al baño de metal, y aumenta con ello el rendimiento en hierro. Se trata en este caso de hierro primario, que se caracteriza por una mayor pureza en cuanto a los elementos residuales, tales como Cu, Sn, Mo, Cr, Ni, etc. Las temperaturas especialmente altas en la zona central del horno, la superficie de intercambio de calor acrecentada de los trozos (briquetas) de MOC, la presencia de una gran superficie de reacción en el contacto entre el agente carburizante y el agente oxidante sólido, así como la intensísima transmisión de calor, aseguran las condiciones necesarias y suficientes para esta reacción, y con ella la reducción completa del hierro.

El monóxido de carbono generado sirve como fuente de calor adicional, que se libera en el interior de la carga de alimentación en piezas. El monóxido de carbono se filtra a través de la capa de carga de alimentación en piezas, que se está fundiendo, y después se quema adicionalmente para dar CO₂, liberando 6,55 kWh de calor por cada kilogramo de carbono contenido en el MOC. La presencia de carga de alimentación sólida, su superficie incrementada, las temperaturas relativamente bajas y la superposición de la zona de formación del CO, la zona de poscombustión del CO y la zona de absorción de calor, crean las condiciones para la poscombustión más completa de CO para dar CO₂ dentro de la masa de carga de alimentación, y para una transmisión acrecentada de calor a los materiales del entorno durante la poscombustión. Estas características superan significativamente a las propiedades respectivas de los procedimientos conocidos, en los cuales la poscombustión y la transmisión de calor tienen lugar ventajosamente al final de la operación de fusión, cuando el baño de metal se encuentra en un estado medio sólido,

medio líquido y está cubierto con una capa de escoria espumada. Estas circunstancias afectan significativamente a las condiciones para la poscombustión y el aprovechamiento del calor.

De lo expuesto más arriba, se desprende que el uso del MOC durante la operación de fusión y la introducción del MOC en el horno durante el transcurso del proceso de fusión modifican esencialmente el comportamiento de estas sustancias y la evolución energética en el horno de arco eléctrico en general. La adición de MOC a la zona de alta temperatura y su posterior calentamiento desencadenan la reacción de reducción del hierro a partir de sus óxidos en los trozos de material, influida por el propio carbono contenido en el MOC, lo que conduce a un aumento del rendimiento de hierro. Con ello se logra un enfriamiento físico y químico de la zona de combustión. Esto incrementa significativamente el grado de absorción de calor y evita pérdidas de calor. Durante la filtración a través de las masas de carga de alimentación, el monóxido de carbono se quema adicionalmente, originándose CO_2 . De este modo se consigue que se superpongan las zonas de formación de CO, de la poscombustión (para dar CO_2) y de la absorción de calor. Ello eleva significativamente la eficiencia de la poscombustión y del carbono como vehículo energético en general. En consecuencia, el consumo de electricidad se reduce y el tiempo de fusión se acorta.

Esta es una de las ventajas del procedimiento propuesto en comparación con el estado de la técnica, en donde la fusión activa del MOC comienza solo en la fase final del proceso de fusión. En ese momento, se forma un baño de metal medio sólido, medio líquido en el horno, que está cubierto por una escoria espumada relativamente fría. Por lo tanto, la poscombustión de CO para dar CO_2 y la transmisión de calor al baño del horno discurren en condiciones desfavorables. Como consecuencia, el efecto resultante del uso de carbono se reduce notablemente y se sitúa como máximo entre 3,1 y 3,8 kWh/kg de carbono en comparación con 4,5-4,9 kWh/kg en el procedimiento propuesto.

Por lo tanto, el procedimiento propuesto para la producción de acero, basado en la aplicación de un sistema especial para la carga de MOC, altera significativamente la evolución energética durante la fase de fusión, y contribuye así a un consumo de electricidad notablemente menor.

La proporción de 10 a 90% se debe a los amplios límites de variación en la potencia nominal de transformador del horno y en el efecto enfriador de los trozos de MOC con distinta composición. Dependiendo de la proporción entre estos dos parámetros, la proporción del MOC incorporado durante la operación de fusión puede variar dentro de un 10-90% de su consumo en cada fusión. En caso de que esa proporción esté por debajo de 10%, el efecto alcanzable disminuye, reduciendo también los parámetros del procedimiento propuesto. Si la proporción de MOC durante la operación de fusión supera el 90%, la eficiencia del procedimiento propuesto también disminuye. Esto está causado por que la cantidad de MOC introducido en este caso junto con la chatarra no garantiza la emisión de la cantidad necesaria de monóxido de carbono. En consecuencia, el baño de metal se mezcla de manera menos intensa y la duración de la fusión se prolonga. Aparte de eso, la cantidad limitada del monóxido originado reduce el calor suministrado a las materias en fusión y al baño de metal medio sólido, medio líquido. Ambos factores, en conjunto, conducen a un aumento del consumo de energía en conexión con la fusión de la carga de alimentación. Por lo tanto, el intervalo de proporciones indicado de entre 10% y 90% del MOC durante la operación de fusión, asegura el logro del máximo gasto de calor específico para la fusión de la carga de alimentación.

El tamaño de grano típico entre 5 y 80 mm de los trozos individuales de MOC representa un valor medio de tres dimensiones principales del fragmento individual. Este intervalo de tamaños se ha elegido de manera que estos trozos individuales puedan entrar en los huecos (cavidades) de la chatarra y permitan la introducción del MOC a través de la abertura en la pared 2 de la cuba 3 del horno. Si el tamaño de grano mide menos de 5 mm, el MOC puede caer a través de las grandes piezas de chatarra, a la parte inferior de la porción férrea, y quedar fuera de la zona de fusión. A consecuencia de ello, el MOC se acumula en las capas de carga de alimentación adyacentes a la solera 1 de horno, y su fusión se ralentiza, desplazándose hacia el final del período de fusión de la carga de alimentación. Por lo tanto, no es preferible reducir el tamaño de los fragmentos de MOC a menos de 5 mm. Si el tamaño de grano del MOC se sitúa por encima de 80 mm, crece su tendencia a formar bóvedas, y se dificulta su introducción en el horno. Por lo tanto, tampoco es razonable un incremento adicional de tamaño.

En conjunto, una combinación de los parámetros anteriores, en concreto la introducción de una fracción de 10-90% del MOC durante la operación de fusión y el tamaño de grano del MOC en el intervalo entre 5 y 80 mm, asegura la fusión completa de estos materiales al comienzo del proceso de fusión, y además muy deprisa, todo ello gracias al calor que de otro modo se pierde debido a la incapacidad de la carga de alimentación para absorber por entero el calor suministrado por los arcos eléctricos. Además, se logra una reducción tan satisfactoria como completa del hierro, reduciéndose eficazmente la totalidad del hierro contenido en los óxidos del agente oxidante sólido. En consecuencia, aumenta también el rendimiento en hierro.

También desempeña un papel importante la formación temprana, ya desde el comienzo de la fusión, de monóxido de carbono, que es también junto con el hierro un producto resultante de la reacción entre el carbono y el oxígeno que está contenido en los óxidos de hierro del agente oxidante sólido. En este caso, la notable cantidad originada de monóxido de carbono, de hasta 600 m^3 por tonelada de material, repercute de modo positivo. El monóxido funciona como vehículo adicional de energía, ya que en su poscombustión para dar CO_2 libera una enorme cantidad de energía de 6,55 kWh por cada kilogramo de carbono. La presencia de trozos sólidos de carga de alimentación mejora las condiciones de la absorción del calor de poscombustión en comparación con los métodos conocidos: 60-80% en lugar de 30-50%. Con ello surge otra posibilidad de ahorrar corriente eléctrica.

La entrada de monóxido en la atmósfera del horno disminuye en conjunto la proporción de oxígeno y el potencial de oxidación de la fase gaseosa con respecto a la superficie de la chatarra presente. Con ello se reduce adicionalmente la oxidación del hierro en el caso del hierro de la chatarra y se incrementa el rendimiento en hierro a partir de la carga de alimentación metálica.

- 5 Según la invención, se introduce el MOC en la zona central 9 del horno, cuyas dimensiones ascienden como máximo a $D = (d_{TK} + 3,5 d_{EI})$. El área de esta zona supone como máximo 30% del área de sección transversal total del horno a la altura del techo.

La elección de este parámetro viene determinada por el gasto energético particular del horno de arco eléctrico. Significa que toda la transformación de corriente en calor y la emisión de calor ocurren dentro de la zona central 9 del horno, cuyas dimensiones son comparables al diámetro d_{TK} del círculo de electrodos de los electrodos 5. Para los hornos modernos de alta potencia y de última generación, el valor absoluto de este parámetro se sitúa en 1,3 a 1,6 m. La presencia de una fuente de calor altamente concentrada, que se halla en el centro del horno, determina la fusión ventajosa de las materias sólidas de la carga férrea en la zona de los arcos eléctricos. Las zonas periféricas de la carga de alimentación se funden mucho más tarde, y ciertamente después de que se hayan fundido los denominados "pozos" (o "fosos") y la formación de una zona de fusión unificada. Debido a la concentración especialmente alta de energía en la zona de los arcos eléctricos y en las zonas adyacentes a los mismos, es necesario introducir el MOC exactamente en la zona central 9 del horno, que se encuentra debajo de los electrodos 5 y a los lados de los mismos.

Si el tamaño de la zona de aportación se sitúa por debajo de $D = (d_{TK} + 3,5 d_{EI})$, el MOC aportado entra en la zona en la que predominan las temperaturas más altas y la concentración máxima de energía. Con ello se garantiza una fusión más temprana del MOC y una finalización más rápida de la reacción entre el carbono y los óxidos de hierro del agente oxidante sólido. Los productos objetivo de esta reacción son hierro, que es reducido por el carbono a partir de los óxidos de hierro, y monóxido de carbono. El monóxido de carbono sirve como fuente de calor adicional en forma de energía de poscombustión. Es también el factor que rebaja el potencial de oxidación de la fase gaseosa del horno eléctrico y, por lo tanto, incrementa el rendimiento en hierro a partir de la carga de alimentación.

El intervalo recomendado del ritmo específico de introducción de MOC en el horno es de 0,5 a 10,0 kg/minuto por 1 MVA de potencia en el transformador. Cuando la velocidad es inferior a 0,5 kg/minuto por 1 MVA, el efecto alcanzable en cuanto a la reducción del gasto de corriente y aumento del rendimiento en hierro se reduce significativamente. En consecuencia, no es factible una reducción adicional de este parámetro. Con un ritmo de introducción de MOC por encima de 10 kg/minuto por 1 MVA, se observa un enfriamiento excesivo de la zona de los arcos eléctricos y de las regiones adyacentes. Esto origina la ralentización del proceso de fusión y un incremento en el gasto eléctrico. Además, existe el riesgo de que no se complete la reacción principal del MOC entre el carbono y los óxidos de hierro. Sin embargo, esta reacción determina la eficacia de la aplicación de estos materiales. Por dicho motivo, el intervalo aplicable más adecuado para el ritmo de suministro se encuentra entre 0,5 y 10,0 kg/minuto por 1 MVA.

La característica más relevante del MOC es la relación carbono-oxígeno (C/O). Dicha relación globaliza el impacto conjunto sobre la eficacia del uso de este material compuesto (MOC) y la elección de su composición. La relación entre carbono y oxígeno en el MOC se selecciona en el intervalo de $0,15 \leq C/O \leq 5,00$. Si la relación C/O en el MOC se mantiene por debajo de 0,15, entonces el efecto de enfriamiento de este material llegará a su valor máximo, que coincide con la capacidad de enfriamiento del agente oxidante sólido. Una de sus consecuencias es que en este caso se debe reducir la cantidad de MOC por cada fusión. Ello disminuye la eficacia del procedimiento propuesto. Por lo tanto, una relación C/O por debajo de 0,15 no es deseable.

Si la relación C/O en el MOC es superior a 5,00, la capacidad de enfriamiento del material disminuye notablemente. La razón de ello es la alta proporción de carbono, que desde el MOC pasa al baño de metal, y provoca una carburización excesiva del metal. Por lo tanto, tampoco es razonable una relación C/O por encima de 5,00. Así pues, no son deseables ni las relaciones C/O inferiores a 0,15 ni las superiores a 5.

Los valores límites de los componentes del MOC y de la composición de este material se determinan mediante los siguientes razonamientos. Si la proporción del oxidante sólido se sitúa por debajo de 40% y la proporción del agente carburizante se sitúa, en correspondencia, por encima del 60%, entonces el oxígeno total procedente de los óxidos de hierro del agente oxidante sólido se consume por completo para oxidar una parte del carbono. En tal caso, la considerablemente elevada cantidad restante de carbono es introducida en el baño, y lo enriquece en carbono. La cantidad de carbono que entra en el baño es muy alta. El aumento de la proporción de carbono reduce el efecto de enfriamiento del MOC en la zona de los arcos eléctricos, y también requiere un consumo adicional de oxígeno y de corriente, con lo que la duración del proceso de oxidación y de todo el proceso de fusión se alarga. Al mismo tiempo, empeoran las condiciones de desfosforación del metal, debido a la reducida cantidad de óxido de hierro en la escoria. Por lo tanto, no son convenientes proporciones de agentes oxidantes sólidos por debajo de 40% y de reaccionante con contenido de carbono por encima de 60%. En caso de una proporción incrementada de agente oxidante sólido en el MOC (por encima de 95%) y, por consiguiente, una proporción reducida de agente carburizante (por debajo de 5%) la cantidad de óxidos de hierro que actúan como donadores de oxígeno supera sustancialmente la cantidad que es necesaria para eliminar todo el carbono del MOC. La proporción excesivamente alta del agente

oxidante sólido y, por consiguiente, la baja proporción de agente carburizante acrecientan el efecto de enfriamiento del MOC, que es casi comparable al del agente oxidante sólido puro, y supone de 3 a 4 puntos de la capacidad enfriadora de la chatarra. Esto limita notablemente el consumo de MOC en cada fusión. El exceso así resultante de óxidos de hierro llega a la escoria, y aumenta allí su grado de oxidación y la masa de la escoria. Estos factores afectan negativamente a los parámetros (propiedades) de la siderurgia eléctrica, reducen el rendimiento en hierro, incrementan el contenido de oxígeno en el metal final, elevan el consumo de agentes apaciguadores, intensifican con ello la contaminación del acero por inclusiones de oxígeno, y empeoran la vida útil del revestimiento del horno. Por estas razones, los valores límites de agente oxidante y de agente carburizante en el MOC no deben superar ni quedar por debajo de, respectivamente, 90 y 5%. El aglutinante como componente del MOC en una cantidad hasta el 100%, entre 1 y 10% de la masa total del agente carburizante y el agente oxidante sólido, proporciona la resistencia mecánica adecuada de las briquetas y no tiene una influencia sustancial en el proceso de fusión.

El material de óxido-carbono puede contener partículas metálicas con contenido de hierro, en una cantidad de 5-30%. La presencia de tales partículas metálicas acelera sustancialmente la reacción principal entre el carbono y el agente oxidante sólido que ocurre dentro del MOC durante el calentamiento y la fusión del mismo. La presencia de partículas metálicas en el MOC aumenta el grado de reducción de hierro a partir de los óxidos de hierro con ayuda del carbono y la velocidad de este proceso.

En caso de una proporción relativamente baja (inferior a 5%) de estas partículas metálicas en el MOC, se debilita su impacto positivo en el curso de la mencionada reacción principal. Además, los resultados positivos no justifican el complicado procedimiento de preparación de los materiales aglomerados. El incremento de la proporción de partículas metálicas en el MOC (a más de 30%) va acompañado de un notable aumento en el consumo de agente aglutinante, ya que la solidez de los trozos de MOC disminuye. Además, esta medida trae consigo ciertas complicaciones de la tecnología de proceso, achacables a la aglomeración del MOC. Por lo tanto, el parámetro resulta óptimo entre 5 y 30%.

El MOC puede contener formador de escoria en una cantidad de 0,1-10,0%. La complementación del MOC por este componente garantiza una formación más temprana de la escoria líquida durante la fusión del MOC. Los experimentos han demostrado que esta solución incrementa la estabilidad de los arcos eléctricos y reduce su pérdida de energía. Además, la rápida formación de escoria mejora las condiciones para la eliminación de fósforo después de completada la fase de fusión. No es deseable una proporción de formador de escoria por debajo de 0,1%, ya que en este caso disminuye su influencia positiva. Tampoco es deseable una proporción de formador de escoria superior a 10,0%, ya que ello significa que se reduce la proporción relativa de los componentes principales del MOC: carbono y óxidos de hierro. Por consiguiente, se ha revelado óptimo el intervalo de 0,1-10,0%.

Los hornos de arco eléctrico existentes solo tienen una abertura en el techo del horno para añadir, durante el transcurso del proceso de fusión, materiales volcables. Esto puede no ser suficiente para los modernos hornos de arco eléctrico, que pueden admitir cantidades mucho mayores de materiales, incorporadas durante la operación de fusión. A ello se añade el hecho de que la tendencia a reducir continuamente la densidad aparente de la chatarra conduce a llenar por completo todo el espacio del horno, hasta el techo. Naturalmente, esto proporciona muchos menos huecos en la carga férrea. Se dificulta la incorporación del MOC al comienzo de la fusión, con lo que se limita también el consumo de MOC. La solución a este problema ha sido ampliar la capacidad, disponiendo más aberturas. Las aberturas para ello se configuran concretamente en las paredes 2 de la cuba 3 del horno, repartidas a intervalos en el perímetro. Existen aquí al menos tres aberturas, es decir, su número es un múltiplo del número de electrodos. Ventajosamente, estas aberturas se sitúan, en cada caso, entre dos electrodos vecinos 5 respectivos y de 0,2 a 1,0 m más profundas que la marca 10 de nivel máximo de la cuba 3 del horno. Esta solución permite introducir el MOC desde el comienzo de la fusión, para cualquier densidad aparente de la chatarra, y regular de manera continua el consumo de MOC dentro de un amplio rango. Así se evita que las briquetas de MOC introducidas dañen los electrodos 5. Las briquetas de MOC llegan exactamente a la zona central 9 del horno. Con ello se garantiza una distribución uniforme y la fusión completa de los materiales, sin que se originen cantidades de MOC sin fundir acumulado.

El procedimiento para producción de acero en un horno de arco eléctrico se realiza de la siguiente manera:

Después de finalizado el sangrado y la descarga de la escoria del horno de arco eléctrico, se comprueba su espacio de trabajo, con el fin de poner el horno en situación de partida. Se llena el horno con la primera cesta, la chatarra y el material de óxido-carbono aglomerado (briqueteado). El material de óxido-carbono consiste en trozos con un tamaño de 5 a 80 mm, que han sido elaborados utilizando de 1 a 10% de cemento Portland como aglutinante, mediante el procedimiento de prensado con vibración, por ejemplo. La proporción necesaria de MOC asciende en este caso a 10 hasta 90% de la cantidad de consumo total por cada fusión. Se conecta el suministro de energía. Al mismo tiempo se activa la aportación de combustible, oxígeno gaseoso y fundentes. La carga de alimentación comienza a fundirse. En paralelo y de manera simultánea al comienzo de la fusión, se introduce el MOC en el espacio de trabajo del horno a través de una serie de aberturas 8 en las paredes 2 de la cuba 3 del horno. La adición del material de óxido-carbono se realiza a un ritmo específico de suministro entre 0,5 y 10 kg/minuto por 1 MVA de potencia nominal del transformador. Estos trozos rellenan algunos huecos existentes en la chatarra. La chatarra utilizada en ese momento tiene una baja densidad aparente, aproximadamente 0,5 t/m³. Debido a eso, más del 90% del volumen de la chatarra corresponde a los huecos. Es decir, las cavidades predominan en el volumen total de la carga de alimentación. La

presencia de cavidades en la capa de la carga férrea de partida garantiza una acogida eficaz, dentro del volumen de la carga férrea, del material de óxido-carbono aportado.

5 Con una elevada densidad aparente de la chatarra, la incorporación de material de óxido-carbono debe comenzar ventajosamente de 1 a 2 minutos después del inicio de la fusión. En este caso, una parte de la carga de alimentación sólida ya se ha fundido, lo que libera una parte del espacio de trabajo del horno y crea espacios huecos adicionales entre la superficie de carga férrea y el techo 7 del horno.

10 El ángulo de inclinación en la adición del MOC introducido a través de las aberturas 8 de las paredes 2 de la cuba 3 del horno, en combinación con los tamaños de grano de los trozos de MOC, facilita su entrada en la zona central 9, una parte de la cual es al mismo tiempo la zona de los arcos eléctricos. Su tamaño alcanza en este caso, como máximo, $D = (d_{TK} + 3,5 d_{EI})$. Esto constituye más del 30% del área de sección transversal del espacio de trabajo del horno. Con ello se asegura el material de óxido-carbono llegue exactamente a la zona central 9, situada debajo de los arcos eléctricos calientes y limitada lateralmente por las "paredes" de la carga de alimentación sin fundir.

15 La tasa de consumo de las materias incorporadas se selecciona en este caso en el intervalo de 0,5-10,0 kg/minuto por 1 MVA de potencia de transformador, basada en la condición de mantener una cierta velocidad de alimentación al nivel que corresponde a la velocidad de flujo del MOC, o un poco menor que esta, que viene determinada por la cantidad de energía eléctrica suministrada. Poco a poco, el consumo de material se incrementa. Esto ocurre a medida que la carga de alimentación continúa fundiéndose, cuando se forman lugares huecos (cavidades) dentro de la capa de carga férrea, los denominados "pozos", y cuando se forma bajo los electrodos 5 una zona de fusión unificada.

20 Tras el término de la primera fase de fusión, la fusión de una parte de la primera cesta, que corresponde a 50-65% de la carga férrea, se deja de suministrar corriente eléctrica al horno. La adición del material de óxido-carbono se detiene. Después de esto se efectúa el llenado (o rellenado) con la segunda cesta de chatarra. Se conecta de nuevo el suministro eléctrico y se inicia la introducción del material de óxido-carbono. La aportación del MOC se detiene después de que las paredes 2 del horno han quedado libres de carga de alimentación sólida, que protegía o
25 apantallaba el revestimiento del horno frente a los arcos eléctricos, y después de que se haya formado el baño de metal medio sólido, medio líquido, con piezas de chatarra sumergidas en el mismo. Esto corresponde a la fase final de la fusión, que transcurre con una superficie plana del baño de metal, y en donde los arcos eléctricos irradian directamente las paredes 2 y el techo 7 del horno. Después de esto, el proceso de fusión continúa conforme al procedimiento estándar, que es similar a los procedimientos de fusión conocidos.

30 Al comienzo de la fusión, la aportación de porciones de MOC a la carga de alimentación se basa en que esta contiene gran cantidad de cavidades, que constituyen la mayor parte del volumen de la carga de alimentación y de todo el espacio de trabajo del horno de arco eléctrico. La fusión adicional de la carga de alimentación sólida inicial, cuya base está constituida por chatarra con una densidad aparente relativamente baja, de entre 0,4 y 0,6 t/m³, va acompañada de la formación de nuevas cavidades dentro de la capa de carga férrea: son estas los ya mencionados
35 "pozos". Se trata de cavidades que atraviesan toda la masa de la carga de alimentación metálica, desde el techo 7 hasta la solera 1. Su geometría se asemeja a un cilindro cuyas paredes consisten en fragmentos de materiales que formaban la carga de alimentación metálica cargada original. Los "pozos" se originan debido a que la carga de alimentación sólida, situada debajo y a los lados de los electrodos 5, se funde gradualmente y la masa fundida formada fluye hacia a la parte inferior del horno, hasta la solera 1. Por lo tanto, el espacio de trabajo del horno queda
40 libre de las piezas individuales de la carga de alimentación, de forma que se originan en el volumen de la carga férrea cavidades (huecos) que no contienen materia sólida. Esto facilita la introducción del MOC en el espacio de trabajo y permite aumentar el consumo de MOC.

45 Después de que los electrodos 5 hayan penetrado por completo en el núcleo de la carga férrea inicial y hayan alcanzado la posición final más baja, y después de que los arcos eléctricos hayan cambiado al modo de funcionamiento para el baño de metal medio sólido, medio líquido, que se encuentra sobre la solera 1 del horno, comienza la fusión de las piezas de carga de alimentación que forman las paredes laterales de los "pozos". Las cavidades primeramente formadas en el volumen de la carga férrea se ensanchan.

50 La escasa densidad aparente de la chatarra predetermina el diámetro relativamente pequeño de los "pozos" en el momento de su formación. Este se sitúa, aproximadamente, en $d_B = 1,5 d_{EI}$. La adición y/o la presencia de trozos de MOC dentro de la capa de carga de alimentación metálica aumenta la relación entre el diámetro de los "pozos" y el de los electrodos. Cuando el diámetro relativo de los "pozos" alcanza el valor de $d_B/d_{EI} = 2$ o superior, los "pozos" formados se combinan en una única zona de fusión, que se sitúa en la zona central 9 del horno, debajo de los electrodos 5. Por los lados, esta zona está formada por piezas de carga de alimentación aún sin fundir que, a su vez, se apoyan en las paredes 2 de la cuba 3 del horno.

55 A consecuencia de la fusión parcial de la carga de alimentación sólida que se encuentra bajo los electrodos 5, una parte del espacio de trabajo queda libre de chatarra. Ello mejora significativamente las condiciones para la aportación de MOC, y permite aumentar el ritmo de introducción del mismo. Además, con ello se garantiza que el MOC cae en la superficie del baño de metal líquido, penetra en el mismo y se distribuye ventajosamente por la superficie del baño de metal formado durante el proceso de fusión.

Después de cargar el horno con la segunda cesta, los trozos de MOC llegan al interior del volumen de la carga férrea y alcanzan aproximadamente el centro del espacio de trabajo del horno, que además está en el recorrido de movimiento de los electrodos 5. Esto crea las condiciones necesarias y suficientes para aprovechar eficazmente el potencial del MOC, tanto desde el punto de vista de la reacción entre el carbono y el oxígeno, procedente del agente oxidante sólido que está contenido en este material, como también desde el punto de vista de la poscombustión de CO para dar CO₂ y la absorción de ese calor por las materias en fusión y el baño de metal. Al mismo tiempo, con ello se acelera la carburización del baño. A su vez, esto acelera la fase de fusión y reduce el gasto eléctrico.

Por lo tanto, la introducción de una parte de las briquetas de MOC durante la operación de fusión cambia sustancialmente a mejor el procedimiento de fusión y aumenta la eficacia de su aplicación.

10 La relación entre carbono y oxígeno, que es aportado por los óxidos de hierro del agente oxidante sólido, se selecciona o se mantiene en el intervalo de $0,15 \leq C/O \leq 5,00$. La eficacia del procedimiento propuesto aumenta cuando la composición del MOC se complementa mediante partículas metálicas con contenido de hierro, en una cantidad de 5-30%. La presencia de hierro metálico reduce la temperatura de inicio de la reacción entre carbono y óxidos de hierro, y acelera el curso de esta reacción. Esto, por su parte, incrementa el grado de reducción del hierro y acelera la formación de monóxido de carbono. El desarrollo más temprano de este gas mejora las condiciones para la poscombustión y la transmisión de calor a las materias en fusión de la carga férrea, y prolonga la duración del intercambio de calor entre la carga de alimentación y el calor que se desarrolla durante la poscombustión de CO para dar CO₂.

20 También se eleva la eficacia del procedimiento propuesto si se complementa la composición del MOC, en una cantidad de 0,1 a 10% de la masa total del material, con formador de escoria, en concreto óxidos y/o fluoruros de los elementos químicos que presentan una afinidad hacia el oxígeno mayor que el hierro, a una temperatura superior a 1.550°C.

25 Gracias a la aplicación del grupo de invenciones, se ha desarrollado el procedimiento para producción de acero y el horno de arco eléctrico para ello. Con ello se ha hecho posible reducir significativamente el consumo específico de electricidad para fundir la carga de alimentación metálica y aumentar el rendimiento en hierro a partir del material de óxido-carbono y su cantidad relativa en la masa total de la carga de alimentación.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para producción de acero en un horno de arco eléctrico con introducción de la carga de alimentación en el espacio de trabajo del horno, estando constituida la carga de alimentación por chatarra y material de óxido-carbono aglomerado, con aportación de combustible, agente carburizante, fundente y oxígeno gaseoso, con aportación de corriente eléctrica, calentamiento y fusión de la carga de alimentación con ayuda de arcos eléctricos, incluida la descarburación del baño de metal, con vaciado del metal y descarga de la escoria fuera del horno,
- caracterizado por que
- 10 antes del comienzo de la fusión se introduce en la zona central del horno, que es adyacente a la zona de los arcos eléctricos y está limitada a la dimensión $D = (d_{TK} + 3,5 d_{EI})$, donde d_{TK} es el diámetro del círculo de electrodos y d_{EI} es el diámetro de los electrodos, una parte del material de óxido-carbono en una cantidad de 10 a 90% de su cantidad total consumida por cada fusión, de una vez junto con una primera porción de la carga de alimentación metálica,
- 15 por que la cantidad restante del material de óxido-carbono se agrega a la carga de alimentación, fundida, durante el transcurso del proceso de fusión del acero con un ritmo específico de suministro de 0,5-10 kg/minuto por 1 MVA de potencia nominal del horno de arco eléctrico, y
- por que el tamaño de grano del material de óxido-carbono se selecciona entre 5 y 80 mm.
2. Procedimiento según la reivindicación 1,
- caracterizado por que
- 20 la relación entre carbono y oxígeno, que es aportado por el agente oxidante sólido del material de óxido-carbono y/o está contenido en óxidos de hierro, se establece en el intervalo de $0,15 \leq C/O \leq 5,00$ con las siguientes proporciones de materias de partida (en % en masa): agente oxidante sólido 40-95, agente carburizante 5-60 y agente aglutinante hasta el 100% en una cantidad de 1 a 10% de la masa total del agente carburizante y el agente oxidante sólido.
3. Procedimiento según la reivindicación 1,
- caracterizado por que
- 25 el material de óxido-carbono contiene adicionalmente partículas metálicas con contenido de hierro, en una cantidad de 5 a 30% de la masa total del material.
4. Procedimiento según la reivindicación 1,
- caracterizado por que
- 30 el material de óxido-carbono contiene adicionalmente formador de escoria, en una cantidad entre 0,1 y 10,0% de la masa total del material,
- por que se utilizan aquí como formador de escoria óxidos y/o fluoruros de aquellos elementos que poseen una afinidad hacia el oxígeno mayor que el hierro, a una temperatura superior a 1.550°C, incluyendo este grupo de elementos Ca, Na, K, Ba, Al, Ti, Zr, Si, Mn, V, Cr y B.
- 35 5. Horno de arco eléctrico para la producción de acero conforme al procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4,
- con una cuba (3) de horno con aberturas para la aportación de materiales volcables y un techo amovible abovedado (7),
- 40 estando la cuba (3) del horno encofrada con revestimiento altamente refractario de manera que están formadas una solera (1) y paredes (2) de la cuba (3) del horno, y estando dotado el techo (7) de brazos para electrodos, cuya configuración permite el reajuste y el reemplazo de electrodos (5), estando dotadas las paredes (2) de la cuba del horno con al menos tres aberturas (8) repartidas en su perímetro, que presentan un ángulo de inclinación, que posibilitan la introducción del material de óxido-carbono en la zona central (9) del horno mediante volcado, estando la zona central (9) adyacente a la zona de los arcos eléctricos y limitada a la dimensión $D = (d_{TK} + 3,5 d_{EI})$,
- 45 donde d_{TK} es el diámetro del círculo de electrodos y d_{EI} es el diámetro de los electrodos, y estando situadas estas aberturas 0,2-1,0 m más profundas que la marca de nivel máximo de la cuba (3) del horno.
6. Horno de arco eléctrico según la reivindicación 5,
- caracterizado por que
- las aberturas (8) para añadir el material de óxido-carbono a la zona central (9) del horno están repartidas a intervalos

en el perímetro de las paredes (2), estando dispuestas ventajosamente estas aberturas (8), en cada caso, entre dos electrodos (5) vecinos respectivos.

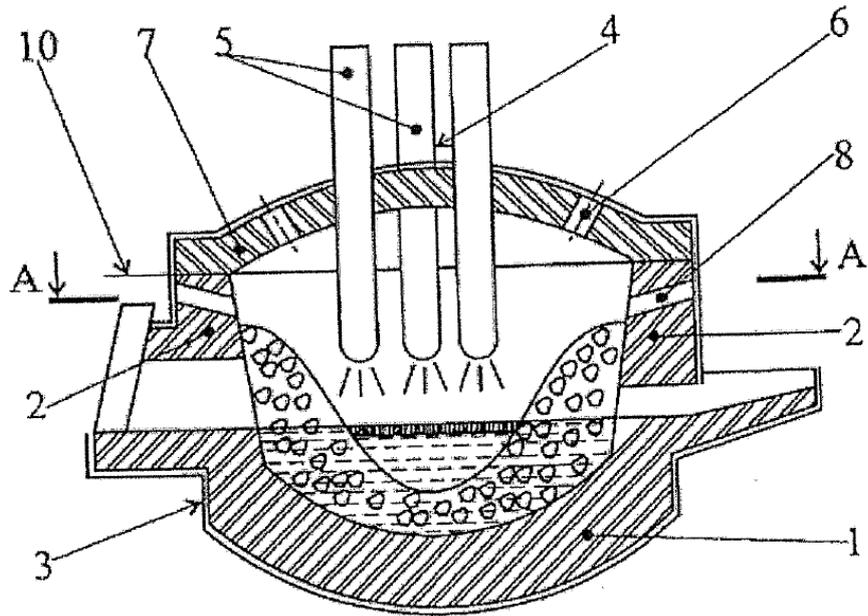


Fig. 1

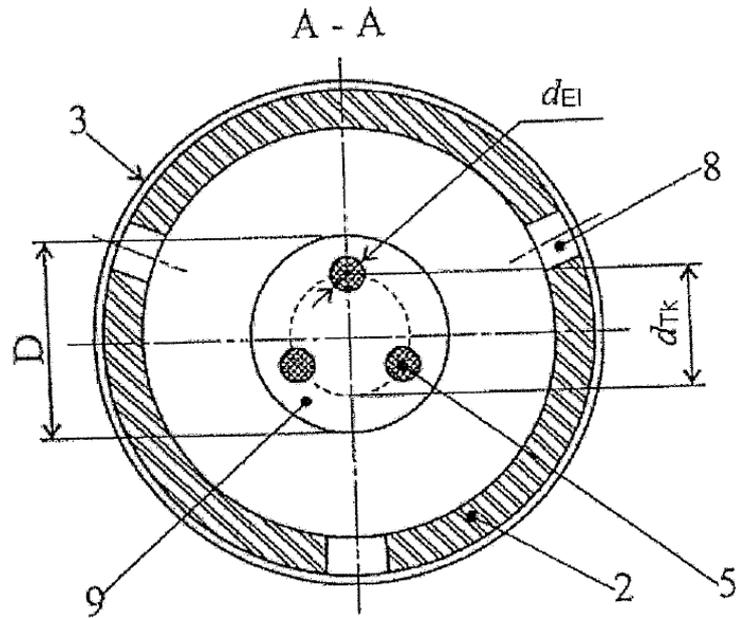


FIG. 2