(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 484 701**

(51) Int. Cl.:
H05B 7/148 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.02.2011** **E 11702441 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.06.2014** **EP 2540138**

(54) Título: **Procedimiento para hacer funcionar un horno de arco eléctrico, instalación de control y/o regulación para un horno de arco eléctrico y horno de arco eléctrico**

(30) Prioridad:

23.02.2010 EP 10001823

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.08.2014

(73) Titular/es:

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München , DE

(72) Inventor/es:

DITTMER, BJÖRN;
KRÜGER, KLAUS;
DÖBBELER, ARNO;
LEADBETTER, SASCHA;
MATSCHULLAT, THOMAS y
RIEGER, DETLEF

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 484 701 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 hacer funcionar un horno de arco eléctrico, instalación de control y/o regulación para un horno de arco eléctrico y horno de arco eléctrico

La invención se refiere a un procedimiento para hacer funcionar un horno de arco eléctrico, en donde con al menos un electrodo se genera un arco eléctrico para fundir metal, en donde un arco eléctrico asociado al al menos un electrodo presenta una primera potencia de radiación sobre la base de un primer juego de parámetros de funcionamiento ajustado, en donde el horno de arco eléctrico se hace funcionar conforme a un programa de marcha prefijado, que se basa en un desarrollo de proceso esperado, en donde se vigila si entre el desarrollo de proceso real y el desarrollo de proceso esperado existe una desviación indeseada. Además de esto, la invención se refiere a una instalación de control y/o regulación correspondiente para un horno de arco eléctrico, así como a un horno de arco eléctrico.

Para la producción de acero en un horno de arco eléctrico se funde chatarra normalmente con un programa de marcha archivado fijamente, en el que se prefijan los valores nominales de la regulación de electrodos (por ejemplo en forma de valores nominales de corriente o impedancia). Estos valores nominales deben garantizar una productividad y rentabilidad elevadas y se basan casi siempre en valores experimentales. A causa de características variables de la chatarra a fundir debería realizarse de forma ideal una adaptación del programa de marcha al desarrollo real del proceso. De este modo la broza de chatarra puede tener una densidad a granel que difiera, tanto localmente como en conjunto, lo que influye en la velocidad del progreso de la fusión.

Para evitar pérdidas de energía excesivas debería adaptarse el punto de trabajo eléctrico, en cualquier caso, al progreso real de la fusión. Esto puede realizarse básicamente de diferente forma según el tipo de ejecución de la regulación de un horno de arco eléctrico. En la mayoría de los casos los parámetros correspondientes son la reactancia de una bobina de estrangulación conectable en etapas, la tensión/ las tensiones secundaria(s) de conductores externos de un transformador de horno conectable de forma escalonada y la corriente de arco eléctrico, respectivamente la impedancia, a través de los valores nominales para la regulación de electrodos.

A través de estas magnitudes de ajuste puede controlarse el proceso de fusión. Estas magnitudes se prefijan normalmente a través de un diagrama, respectivamente diagrama de marcha, en función de la energía aplicada.

Si el desarrollo de proceso difiere del desarrollo esperado, que está archivado en el diagrama de marcha, debería intervenirse en el desarrollo automatizado a través de las magnitudes antes citadas.

Para el caso de una desviación simétrica, es decir de una desviación que afecte a todo el horno, esto puede suceder teniendo en cuenta la carga nominal de los recursos, por ejemplo mediante una modificación uniforme o simétrica de los valores nominales de impedancia. Sin embargo si sólo se ven afectadas algunas regiones del horno por una desviación del proceso de fusión esperado, es necesario proceder de forma diferenciada.

Si se vierte la broza de chatarra en una región del horno más rápidamente, debería procederse específicamente con el objetivo de ajustarse a este desarrollo de proceso asimétrico. Una diferencia así en el comportamiento de fusión de diferentes regiones del recipiente de horno puede estar causada, por ejemplo, por una falta de homogeneidad local en la inserción de chatarra. La consecuencia es la configuración de unas regiones especialmente calientes en el recipiente de horno (hot-spots). La radiación y el apantallamiento diferentes de los arcos eléctricos pueden obtenerse por ejemplo mediante la distribución de temperaturas del panel o, mejor y más rápidamente, mediante el cálculo de los factores de apantallamiento, como se describe en la publicación para información de solicitud de patente WO 2009095396 A1.

Una reducción de la potencia de fusión de todo el horno de arco eléctrico alargaría innecesariamente la duración del proceso y, de este modo, reduciría la productividad. Es ventajoso no reducir la potencia de fusión, sino redistribuirla en el recipiente de tal forma, que las regiones con mucha chatarra no fundida reciban una mayor potencia de radiación.

Un menor apantallamiento de arcos eléctricos aislados, que conduce a un calentamiento indeseado de paneles enfrentados a causa de la radiación, debería conducir por el contrario a la reducción de la potencia de radiación. Según la ejecución del horno, una distribución asimétrica así de la potencia de radiación puede llevarse a cabo de modo y manera diferentes.

Una desviación de la dirección del proceso prefijado fijamente mediante el programa de marcha se lleva a cabo de dos maneras. Por un lado el personal manipulador puede intervenir manualmente en el desarrollo del proceso, con base en su experiencia personal o con base en mensajes de alerta. Por otro lado mediante un acuse de recibo del proceso, ejecutado casi siempre en forma de una valoración del estado térmico del panel del recipiente de horno, puede realizarse una adaptación al desarrollo momentáneo del proceso. De este modo y manera puede regularse de

forma automatizada el punto de trabajo eléctrico en forma de prefijaciones eléctricas de valores nominales. Habitualmente una adaptación de potencia de este tipo se realiza simétricamente en las tres fases.

En el caso de la regulación automatizada citada en último lugar se calcula, con base en el estado térmico, cómo debe modificarse la potencia de fusión de los arcos eléctricos. Diferentes investigaciones han mostrado que la potencia de fusión de los arcos eléctricos está caracterizada esencialmente por convección y radiación térmica. En el caso aquí contemplado de la potencia de fusión directamente sobre los elementos de pared o la chatarra situada delante, tiene un interés especial la potencia de radiación entregada por los arcos eléctricos.

Algunas pocas soluciones automatizadas prevén también el ajuste asimétrico de las prefijaciones de valores nominales. Para esto se adaptan los valores nominales de las impedancias de barra, según reglas eurísticas, o bien se eligen tensiones de horno asimétricas en el caso de un transformador de horno apropiado. Una prefijación directa de la distribución de radiación buscada no es posible hasta hoy. Partiendo de las impedancias elegidas puede establecerse a continuación, a través de modelos empíricos, la distribución de radiación conseguida.

Aparte de esto es conocido que el cálculo de las magnitudes eléctricas, basado en lo cual después se estima la potencia de radiación, se lleve a cabo sobre la base de esquema de conexiones sustitutorio linealizado y simplificado, véase por ejemplo S. Köhle, esquemas de conexiones sustitutorio y modelos del sistema de alta corriente de hornos de arco eléctrico de corriente alteran, acero y hierro 110, páginas 51 a 59. Un planteamiento más amplio consiste en enlazar las potencias de radiación así encontradas con un diagrama circular, por ejemplo conocido de Görtler et al., “Energetically optimized Control of an Electric Arc Furnace, IEEE International Conference on Control Applications, Taipeh, Taiwán, páginas 137 a 142.

Del documento DE 197 11 453 A1 se conoce un procedimiento para regular o controlar un proceso de fusión en un horno de arco eléctrico de corriente alterna. Aquí se detecta la temperatura en el entorno de un electrodo y, con base en la temperatura detectada, se ajusta la potencia efectiva del electrodo. Aquí existe el inconveniente de que no se realiza una intervención de control hasta que ya se ha producido un sobrecalentamiento del horno. Además de esto se controla la potencia efectiva eléctrica, que sólo es efectiva indirectamente para el aumento de temperatura.

La tarea de la invención consiste en proporcionar un procedimiento de funcionamiento, un horno de arco eléctrico, y una instalación de control y/o regulación para un horno de arco eléctrico, que permitan conseguir una duración de fusión lo más corta posible con un trato cuidadoso de los recursos, en especial de la refrigeración del horno de arco eléctrico.

Esta tarea es resuelta en cada caso mediante un procedimiento para hacer funcionar un horno de arco eléctrico, en donde con al menos un electrodo se genera un arco eléctrico para fundir metal, en donde un arco eléctrico asociado al al menos un electrodo presenta una primera potencia de radiación sobre la base de un primer juego de parámetros de funcionamiento ajustado, en donde el horno de arco eléctrico se hace funcionar conforme a un programa de marcha prefijado, en donde se vigila si se cumple el programa de marcha prefijado, en donde en el caso de que el funcionamiento se desvíe del programa de marcha prefijado se prefija una segunda potencia de radiación modificada y, con base en la segunda potencia de radiación modificada, se establece un segundo juego de parámetros modificado, en especial al menos un valor de impedancia. El ajuste del segundo juego de parámetros establecido lleva en especial a conseguir la segunda potencia de radiación modificada prefijada.

En especial ya no es necesario aproximar iterativamente a un óptimo para el arco eléctrico los parámetros de funcionamiento que influyen en el arco eléctrico, hasta que se obtenga una potencia de radiación deseada para el al menos un electrodo.

Más bien puede ajustarse directa y exactamente un juego deseado de parámetros de funcionamiento, en especial valores de impedancia, que entregue también con precisión la potencia de radiación deseada para el al menos un electrodo, de forma preferida tres electrodos.

De las reivindicaciones subordinadas se obtienen otras ventajas.

Una solución iterativa del modelo hace posible en especial evitar iteraciones a la hora de ajustar la impedancia. Tras encontrar el juego de valores de impedancia para una potencia de radiación prefijada, éste puede ajustarse directamente.

Puede prescindirse de adaptaciones iterativas de los valores de impedancia ajustados, con lo que se mejora la dinámica de funcionamiento del horno de arco eléctrico y se reduce la duración, hasta que se alcanza un estado de funcionamiento lo más óptimo posible.

Para el establecimiento iterativo se utiliza de forma preferida un primer modelo, para establecer una potencia de radiación a partir de magnitudes eléctricas, y adicionalmente un segundo modelo con el que se trasladan las

magnitudes que influyen indirectamente en la potencia de radiación, en especial la impedancia, a las magnitudes eléctricas que influyen directamente en la potencia de radiación, en especial corriente de arco eléctrico y/o resistencia. Por medio de esto pueden establecerse de una forma especialmente apropiada las magnitudes eléctricas, correspondientes a una potencia de radiación prefijada.

El segundo modelo utiliza de forma preferida para la transición un esquema de conexiones eléctrico sustitutorio para el horno de arco eléctrico. Por medio de esto puede aproximarse bien a la realidad el comportamiento del horno de arco eléctrico.

Para establecer el segundo juego de parámetros de funcionamiento modificado se tiene en cuenta de forma preferida el cumplimiento de las condiciones secundarias, en especial las limitaciones técnicas del funcionamiento del horno de arco eléctrico. Esto conduce a que solamente se establezcan juegos de parámetros de funcionamiento prácticos, es decir, juegos de parámetros de funcionamiento que puedan ajustarse también de una forma apropiada. Por medio de esto se evitan resultados “académicos”, que no hayan podido materializarse con el horno de arco eléctrico a causa de las modalidades técnicas.

Es ventajoso que la segunda potencia de radiación modificada se prefije en función de un apantallamiento del arco eléctrico, existente en el horno de arco eléctrico. Es ventajoso en especial que se vigile un apantallamiento del arco eléctrico y que, si se presenta un apantallamiento indeseado para un arco eléctrico, por ejemplo que el apantallamiento para una duración prefijada sea menor que un apantallamiento límite, la primera potencia de radiación se transforme en una segunda potencia de radiación, en especial de tal modo que la carga térmica de la pared de horno se reduzca mediante el arco eléctrico que presenta un menor apantallamiento. Esto tiene la ventaja de que puede reaccionarse ya muy tempranamente, es decir claramente antes de que pueda percibirse un aumento de temperatura para la refrigeración del arco eléctrico, a un estado indeseado en el horno de arco eléctrico. En el estado de la técnica una reacción de este tipo no puede producirse hasta mucho más tarde, en especial sólo cuando la carga térmica ha conducido a un aumento de temperatura y de este modo las piezas constructivas correspondientes ya estaban expuestas a una considerable carga térmica. Mediante el procedimiento ilustrado es posible reducir notablemente la carga térmica de la pared de horno, ya que no es necesario esperar a un aumento de temperatura para limpiar.

De forma ventajosa se fija la segunda potencia de radiación modificada en función de una distribución de chatarra y/o fragmentación existentes en el horno de arco eléctrico. Por medio de esto puede maximizarse por ejemplo la aplicación de energía para el electrodo que, por ejemplo, está encendido sobre piezas de chatarra macizas en trozos grandes, de tal manera que éstas pueden fundirse más rápidamente.

El horno de arco eléctrico presenta ventajosamente tres electrodos, a los que está asociado en cada caso un arco eléctrico, en donde si existe una desviación para al menos dos arcos eléctricos, de forma preferida cada uno de los tres, se fija en cada caso una segunda potencia de radiación modificada, con base en la cual se establece un segundo juego de parámetros de funcionamiento para al menos dos, de forma preferida cada uno de los tres arcos eléctricos.

Además de esto es ventajoso que el horno de arco eléctrico presente tres electrodos, a los que en cada caso está asociado un arco eléctrico, en donde si existe una desviación para cada arco eléctrico se prefija en cada caso una segunda potencia de radiación modificada, y con base en esta segunda potencia de radiación se establece un juego de parámetros de funcionamiento común, en especial valores de impedancia, de tal forma que cada arco eléctrico alcance la potencia de radiación fijada.

De forma preferida la potencia de radiación para los tres arcos eléctricos se fija de tal modo que se reduce, en especial se minimiza, una carga térmica del horno de arco eléctrico, en especial de los elementos de refrigeración del horno de arco eléctrico.

Aparte de esto, la tarea es resuelta mediante el objeto de las reivindicaciones 13 y 14. La instalación de control y/o regulación conforme a la reivindicación 13 comprende códigos de programa legibles mediante una máquina, por ejemplo en forma de módulos que autorizan a la instalación de control y regulación a llevar a cabo los pasos de procedimiento conforme a la forma de ejecución deseada del procedimiento.

A continuación se explica esquemáticamente una forma de ejecución de la invención. Para esto se utilizan las siguientes figuras:

la figura 1 muestra un diagrama de desarrollo esquemático para llevar a cabo una forma de ejecución del procedimiento conforme a la invención,

la figura 2 muestra un esquema de conexiones sustitutorio lineal, completo y a modo de ejemplo, para un horno de arco eléctrico,

la figura 3 muestra dos ecuaciones para calcular las corrientes de arco eléctrico para un sistema de corriente alterna que gire a derechas,

la figura 4 muestra un espacio de impedancia con una superficie, en donde elementos de la superficie entregan siempre la misma potencia de radiación constante para una barra determinada,

la figura 5 muestra dos iso-superficies de la potencia de radiación en el espacio de impedancia para dos barras diferentes.

A causa de los inconvenientes del estado de la técnica se requiere un método para estimar, respectivamente calcular, la potencia de fusión y en especial la potencia de radiación de los arcos eléctricos en el horno de arco eléctrico.

Para esto se utiliza un modelo, que hace posible distribuir esta potencia de un modo y de una manera definidos en el recipiente de horno. Las magnitudes de ajuste con las que puede conseguirse esto son en principio los valores nominales de las impedancias de barra, respectivamente las magnitudes eléctricas correspondientes a ello. Para este caso es necesario encontrar por lo tanto un método, con el que sea posible modificar la potencia de radiación de los arcos eléctricos de forma específica y definida mediante estas magnitudes de ajuste.

Para calcular la potencia de radiación del arco eléctrico en el horno de arco eléctrico pueden utilizarse diferentes modelos.

Es ventajoso utilizar un modelo que se haya obtenido a partir de mediciones empíricas y consideraciones físicas. Uno así se ha publicado por ejemplo en Dittmer et al., Investigaciones teóricas modeladas sobre la carga por radiación térmica en hornos de arco eléctrico, elecktrowärme international 67 (2009) nº 4, páginas 195 a 199, en la ecuación 12 o en una versión ampliada en la ecuación 14. De forma correspondiente al modelo puede calcularse la potencia de radiación, conociendo la corriente de arco eléctrico y la resistencia de arco eléctrico, respectivamente la tensión de arco eléctrico.

$$\Phi \sim \frac{U_B}{\sqrt[8]{I}} = I^{0.875} R_B \,. \qquad (1)$$

(UB tensión de arco eléctrico, I corriente, RB resistencia de arco eléctrico) corrección por caída de tensión y huella de presión en baño:

$$\Phi \sim \frac{(U_B - 80\,\mathrm{V})}{\sqrt[8]{I}} \,. \qquad (1a)$$

El cálculo de las corrientes que se producen en función de las prefijaciones eléctricas de valores nominales se lleva a cabo sobre la base de un esquema de conexiones sustitutorio linealizado, completo, del horno de arco eléctrico. Este tiene en cuenta también los elementos del lado primario, como por ejemplo un estrangulador, una instalación compensadora de potencia ciega y, en caso necesario, la impedancia de la alimentación de tensión en el lado primario. Sobre la base del esquema de conexiones sustitutorio puede calcularse a continuación, en el caso de una etapa de transformador y estrangulador dada y para cada combinación de valores nominales de impedancia de la regulación del horno de arco eléctrico, las corrientes de arco eléctrico y resistencias de arco eléctrico, respectivamente tensiones, que se producen para este punto de trabajo para cada arco eléctrico y de este modo, con la utilización del modelo de potencia de radiación (ecuación 1, respectivamente 1a), las potencias de radiación correctas de los arcos eléctricos. El método para calcular las corrientes de arco eléctrico y las tensiones se ha esquematizado aquí:

En primer lugar debe calcularse el desdoblamiento de los valores nominales de impedancia Z_{Si} para cada barra i en la resistencia del respectivo arco eléctrico R_{Bi}. Para esto debe ser conocida la relación general entre R_{Bi} y la reactancia del arco eléctrico X_{Bi}. A modo de ejemplo puede usarse el planteamiento

$$X_{Bi} = aR_{Bi} + bR_{Bi}^2$$

con los factores a y b constantes específicos del horno. De este modo puede calcularse la resistencia de arco eléctrico R_{Bi} perteneciente a un valor nominal de impedancia Z_{Si}, teniendo en cuenta la reactancia secundaria X_{Li} y la resistencia R_{Li} de las pérdidas por líneas de alimentación. En el caso del planteamiento anterior es necesario resolver para ello un polinomio de cuarto grado según R_{Bi}.

De este modo se conocen todas las magnitudes eléctricas en el lado secundario, que se necesitan para calcular las corrientes que se ajustan. Con el conocimiento de las reactancias X_{Pi} y resistencias R_{Pi} en el lado primario puede establecerse el esquema de conexiones sustitutorio lineal completo para el respectivo horno de arco eléctrico de corriente alterna, mostrado a modo de ejemplo en la figura 2.

Por medio de esto pueden calcularse las corrientes I_i para las tensiones de conductores externos conocidos, por ejemplo U_{12} entre la barra 1 y la 2. Si se conoce la secuencia en fases del sistema de corriente alterna pueden calcularse las corrientes, como se muestra para un sistema de giro a derechas según la figura 3. Para obtener una representación general se han reunido con ello las reactancias de una barra en X_i y las resistencias en R_i.

Si se conocen las corrientes puede calcularse asimismo la tensión efectiva a través del arco eléctrico U_{Bi}.

$$U_{Bi} = R_{Bi} I_i \ .$$

El esquema de conexiones sustitutorio es también apropiado, sin limitaciones para el funcionamiento asimétrico, para calcular correctamente las magnitudes eléctricas.

La invención se utiliza de forma preferida de este modo para ajustar la potencia de radiación de los arcos eléctricos, de tal forma que se eviten las pérdidas de radiación a causa de un menor apantallamiento de los arcos eléctricos individuales y de un calentamiento excesivo, causado por ello, de los paneles de refrigeración (hot-spots).

Para esto se ha proporcionado un método de cálculo, al que se transfieren los valores nominales de potencia de radiación a ajustar de los tres arcos eléctricos. Esto se ha esquematizado en la figura 1 y se explica a continuación.

Para esto se refiere la potencia de radiación absoluta a la magnitud fijada en cada caso para la barra en el diagrama de marcha. Para el cálculo de los valores de referencia Φ^{FD} con relación al diagrama de marcha: Φ_1^{FD}, Φ_2^{FD}, Φ_3^{FD}, debe ejecutarse una vez el método de forma correspondiente a las flechas exteriores, a trazos, en la figura 1. Se lleva a cabo una modificación de la potencia de radiación de los arcos eléctricos con relación a este valor de referencia. La modificación se determina a partir de la regulación de forma correspondiente a los factores de apantallamiento calculados (para la norma reguladora véase la solicitud de patente más arriba). En principio se aplica: apantallamiento elevado: puede aumentarse la potencia de radiación, apantallamiento reducido: debe reducirse la potencia de radiación.

Las prefijaciones de valores nominales para la potencia de radiación se obtienen a partir de

$$\Phi_i^{Soll} = \Phi_i^{FD} \cdot k_i$$

con factores correctores ki a partir del concepto de regulación para el apantallamiento (véase la solicitud de patente citada anteriormente).

Debido a que la potencia de radiación es una función de la tensión de arco eléctrico y de la corriente, y a que el algoritmo para el esquema de conexiones sustitutorio eléctrico no puede invertirse, estas prefijaciones eléctricas de valores nominales deben establecerse con un procedimiento iterativo, como se ha esquematizado en la figura 1.

Es necesario encontrar los valores nominales de impedancia o los parámetros correspondientes a las impedancias, para los que se ajusta la potencia de radiación prefijada cuantitativamente de los arcos eléctricos. En la figura 1 se ha esquematizado el recorrido matemático iterativo. Las prefijaciones de valores nominales nuevas, que hayan variado, se generan con un procedimiento de optimización estándar (por ejemplo procedimiento de descenso de gradiente. De este modo se calculan las corrientes de arco eléctrico y tensiones correspondientes y se establecen en el módulo de radiación las tensiones de radiación correspondientes $\Phi_i^{Berechnet}$. El criterio para la máxima desviación permitida entre la potencia de radiación calculada $\Phi_i^{Berechnet}$ y el valor nominal de la potencia de

radiación Φ_i^{Soll} puede fijarse, por ejemplo mediante la suma de los errores cuadrados. Si la suma de los errores cuadrados $E = \sum_{i=1}^{3} (\Phi_i^{Berechnet} - \Phi_i^{Soll})^2$ supera un valor límite fijado anteriormente, se adapta la prefijación de valores nominales, por ejemplo de las impedancias Z_i, iterativamente a través del procedimiento de optimización estándar, hasta que se haya cumplido el requisito. En este caso se entregan los nuevos valores nominales encontrados, por ejemplo las impedancias (Z_1, Z_2, Z_3), a la regulación de electrodos. El que pueda encontrarse una solución válida para esta tarea, depende de las prefijaciones en cada caso individual. Esto se explica más adelante.

Para una regulación de electrodos basada en las impedancias de barra de un horno de arco eléctrico de corriente alterna se muestra a continuación cómo puede ejecutarse la invención a modo de ejemplo, en especial de forma gráfica.

En el caso de una etapa de transformador y estrangulador dada los valores nominales de impedancia, como magnitudes de ajuste remanentes, abarcan la regulación de un espacio tridimensional. Cada eje de este espacio es abarcado mediante el valor nominal de impedancia de una barra. Para cada punto en este espacio puede calcularse a continuación una potencia de radiación determinada cuantitativamente para cada arco eléctrico. Si ahora se prefija para un arco eléctrico una potencia de radiación cuantitativa, pueden representarse todos los puntos en el espacio de impedancia tridimensional, que se corresponden con esta potencia de radiación, como iso-superficie con la misma potencia de radiación, véase la figura 4. Con elllo Z_{Si} designa el valor nominal de impedancia para la barra i, y Φ_{Si} la potencia de radiación de esta barra. Cada punto sobre la iso-superficie representada representa una combinación entre valores nominales de impedancia, que conduce a la misma potencia de radiación del arco eléctrico en la barra contemplada (aquí barra 1).

A continuación se prefija para cada barra individual una potencia de radiación relativa, cuantitativa. El volumen de corte de las iso-superficies correspondientes se corresponde con la combinación correspondiente, buscada, entre valores nominales de impedancia. A modo de ejemplo se muestra en la figura 5 el espacio de impedancia tridimensional, en el que se han prefijado las iso-superficies de las potencias de radiación de la barra 1 (por ejemplo Φ_{S1} = 110%) y la barra 3 (por ejemplo Φ_{S3} = 90%). La curva de corte de estas iso-superficies se corresponde exactamente con las combinaciones entre valores nominales de impedancia, para los que se alcanzan las potencias de radiación cuantitativas prefijadas. El margen de valores de la potencia de radiación relativa de la barra 2 sobre la curva de corte de las iso-superficies está situado entre el 108% y el 114% de la potencia de radiación original. Mediante el cálculo de una tercera iso-superficie de la potencia de radiación para la barra 2, por ejemplo con Φ_{S2} = 110%, se obtiene en configuraciones relevantes en la práctica exactamente un punto de corte. En el caso de prefijaciones materializables de la potencia de radiación el punto de corte de los planos (Z_1, Z_2, Z_3) en el margen de trabajo admisible del horno de arco eléctrico. Las potencias de radiación correspondientes coinciden exactamente con las potencias de radiación prefijadas de las tres barras.

Debe tenerse en cuenta que el volumen de corte de las iso-superficies (= punto de impedancia (Z_1, Z_2, Z_3)) no es imprescindible que esté situado en el margen admisible de los valores nominales de impedancia, que es realmente adecuado para la prefijación de la regulación. El límite inferior viene dado por las corrientes nominales del transformador de horno, respectivamente por las impedancias secundarias de las líneas de alimentación. El límite superior viene dado por el contrario por una limitación de la longitud de los arcos eléctricos, de la potencia de radiación o de la estabilidad de los arcos eléctricos. Si el volumen de corte está situado fuera de estas limitaciones, las potencias de radiación prefijadas no son adecuadas para el funcionamiento real del horno. Después se utiliza una solución lo más óptima posible (Z_1, Z_2, Z_3) dentro del margen admisible, que se acerque todo lo posible a las potencias de radiación exigidas y con ello tenga en cuenta las limitaciones técnicas. Como criterio correspondiente puede utilizarse por ejemplo la suma de los errores cuadrados.

Al contrario que en los procedimientos conocidos, conforme a la invención se prefija una potencia de radiación cuantitativa para cada arco eléctrico y, basándose en ello, se calculan correctamente las prefijaciones eléctricas de valores nominales para la regulación de electrodos. El método de cálculo anterior prevé implícitamente calcular iso-superficies de la potencia de radiación de los arcos eléctricos en función de las magnitudes de ajuste y en un procedimiento iterativo de optimización obtener las prefijaciones eléctricas de valores nominales, de tal modo que se consiga exactamente una distribución a prefijar de las potencias de radiación de los tres arcos eléctricos.

De esta forma el horno de arco eléctrico puede trabajar con unas pérdidas de radiación mínimas, distribuir la energía óptimamente entre los arcos eléctricos y fundir el producto a fundir lo más uniforme y rápidamente posible. Esto produce un considerable aumento de la productividad, con un trato cuidadoso de los recursos.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hacer funcionar un horno de arco eléctrico, en donde con al menos un electrodo se genera un arco eléctrico para fundir metal, en donde un arco eléctrico asociado al menos un electrodo presenta una primera potencia de radiación sobre la base de un primer juego de parámetros de funcionamiento ajustado, en donde el horno de arco eléctrico se hace funcionar conforme a un programa de marcha prefijado, que se basa en un desarrollo de proceso esperado, en donde se vigila si entre el desarrollo de proceso real y el desarrollo de proceso esperado existe una desviación indeseada, caracterizado porque en el caso de existir una desviación se prefija una segunda potencia de radiación modificada y, con base en la segunda potencia de radiación modificada, se establece un segundo juego de parámetros modificado, en especial al menos un valor de impedancia.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el asegundo juego de parámetros de funcionamiento se establece iterativamente.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque para el establecimiento iterativo se utiliza un primer modelo, para establecer una potencia de radiación a partir de magnitudes eléctricas.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque adicionalmente se utiliza un segundo modelo con el que se trasladan las magnitudes que influyen indirectamente en la potencia de radiación, en especial la impedancia, a las magnitudes eléctricas que influyen directamente en la potencia de radiación, en especial corriente de arco eléctrico y/o resistencia.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque el segundo modelo utiliza para la transición un esquema de conexiones eléctrico sustitutorio para el horno de arco eléctrico.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque para establecer el segundo juego de parámetros de funcionamiento modificado se tiene en cuenta el cumplimiento de las condiciones secundarias, en especial las limitaciones técnicas del funcionamiento del horno de arco eléctrico.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la segunda potencia de radiación modificada se prefija en función de un apantallamiento del arco eléctrico, existentes en el horno de arco eléctrico.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la segunda potencia de radiación modificada se prefija en función de una distribución de chatarra y/o fragmentación existente en el horno de arco eléctrico.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque el horno de arco eléctrico presenta tres electrodos, a los que está asociado en cada caso un arco eléctrico, en donde si existe una desviación para al menos dos arcos eléctricos, de forma preferida cada uno de los tres, se fija en cada caso una segunda potencia de radiación modificada, con base en la cual se establece un segundo juego de parámetros de funcionamiento para al menos dos, de forma preferida cada uno de los tres arcos eléctricos.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado porque se modifica la potencia de radiación de al menos dos arcos eléctricos, en donde la suma de las diferentes potencias de radiación es fundamentalmente igual a las de los arcos eléctricos asociados a los tres electrodos, antes y después de modificar la potencia de radiación.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el horno de arco eléctrico presenta tres electrodos, a los que en cada caso está asociado un arco eléctrico, en donde si existe una desviación para cada arco eléctrico se prefija en cada caso una segunda potencia de radiación modificada, y con base en esta segunda potencia de radiación se establece un juego de parámetros de funcionamiento común, en especial valores de impedancia, de tal forma que cada arco eléctrico alcanza la potencia de radiación fijada.

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la potencia de radiación para los tres arcos eléctricos se fija de tal modo que se reduce, en especial se minimiza, una carga térmica del horno de arco eléctrico, en especial de los elementos de refrigeración del horno de arco eléctrico.

13. Instalación de control y/o regulación para un horno de arco eléctrico, que comprende un código de programa legible mediante una máquina, que presenta órdenes de control que, al ejecutarse, autorizan a la instalación de control y/o regulación a llevar a cabo el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

14. Horno de arco eléctrico para fundir metal, con al menos un electrodo, de forma preferida tres, para generar un arco eléctrico, con una instalación de control y/o regulación según la reivindicación 13, en donde la instalación de control y/o regulación está unida de forma efectiva a unos medios para ajustar una potencia de radiación y/o magnitudes en las que influye la potencia de radiación

FIG 1 Esquema del procedimiento para el cálculo iterativo de los valores nominales optimizados

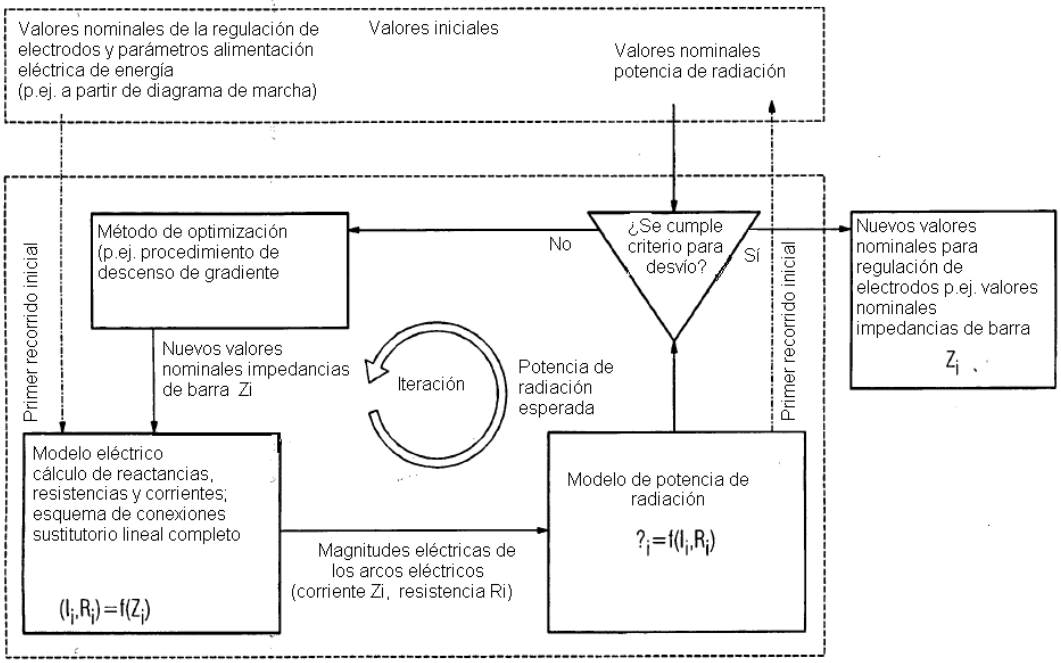

FIG 2

Ejemplo de un esquema de conexiones sustitutorio lineal completo para un horno de arco eléctrico de corriente alterna

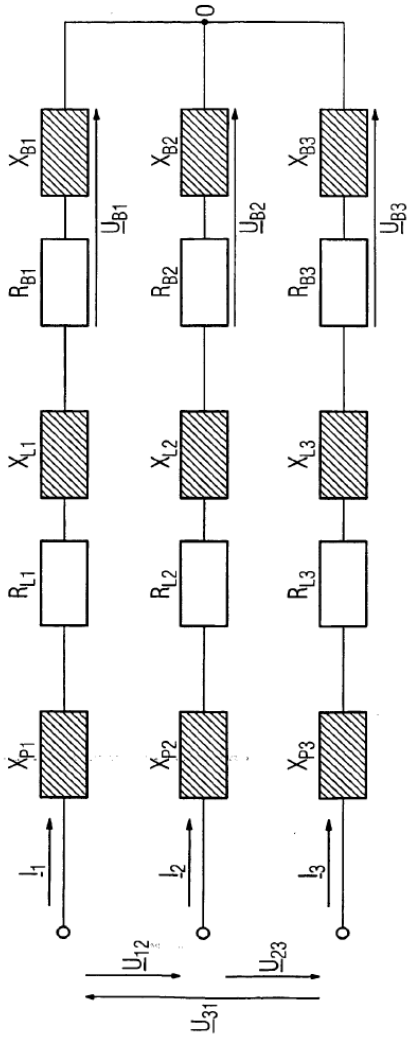

FIG 3

Fórmulas para calcular las corrienets para un sistema de corriente alterna de giro a derechas

$$I_1=U\sqrt{\frac{R_2^2+R_2R_3+R_3^2+X_2^2+X_2X_3+X_3^2-\sqrt{3}R_2X_3+\sqrt{3}R_3X_2}{(R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3-X_1X_2-X_1X_3-X_2X_3)^2+(R_1X_2+R_1X_3+R_2X_1+R_2X_3+R_3X_1+R_3X_2)^2}}$$

$$I_2=U\sqrt{\frac{R_1^2+R_1R_3+R_3^2+X_1^2+X_1X_3+X_3^2-\sqrt{3}R_1X_3+\sqrt{3}R_3X_1}{(R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3-X_1X_2-X_1X_3-X_2X_3)^2+(R_1X_2+R_1X_3+R_2X_1+R_2X_3+R_3X_1+R_3X_2)^2}}$$

$$I_3=U\sqrt{\frac{R_1^2+R_1R_2+R_2^2+X_1^2+X_1X_2+X_2^2-\sqrt{3}R_1X_2+\sqrt{3}R_2X_1}{(R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3-X_1X_2-X_1X_3-X_2X_3)^2+(R_1X_2+R_1X_3+R_2X_1+R_2X_3+R_3X_1+R_3X_2)^2}}$$

FIG 4

Iso-Superficie de la misma potencia de radiación para la barra 1 en el espacio de impedancia

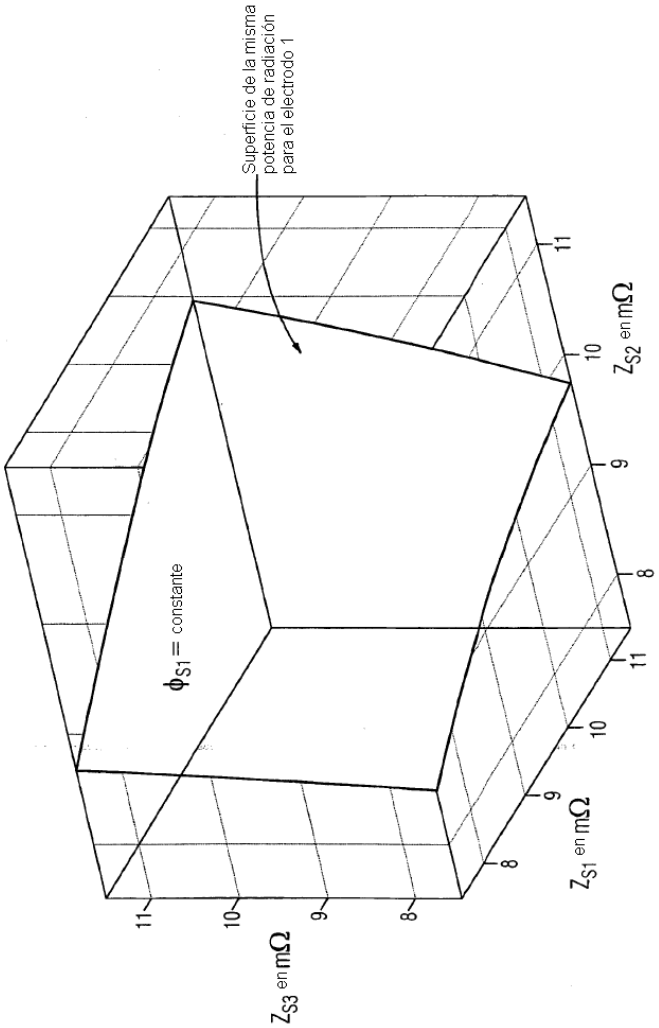
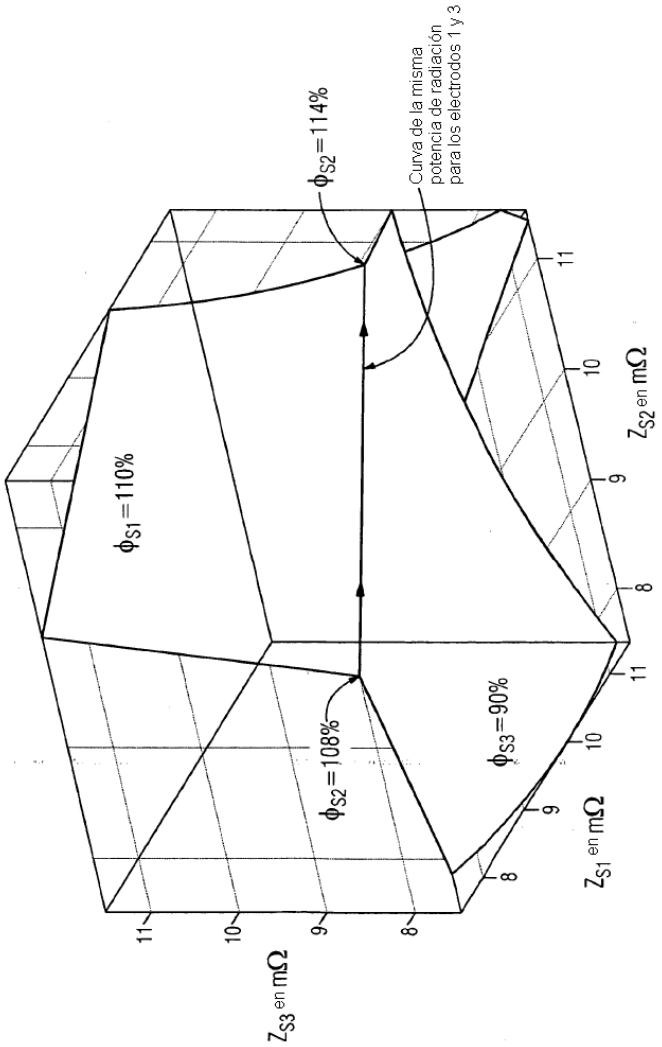
FIG 5 Curva de corte de dos iso-superficies de la misma potencia de radiación para las barras 1 y 3 en el espacio de impedancia