

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 445 466**

21 Número de solicitud: 201231352

51 Int. Cl.:

B22D 11/126 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

31.08.2012

43 Fecha de publicación de la solicitud:

03.03.2014

71 Solicitantes:

**GERDAU INVESTIGACION Y DESARROLLO
EUROPA, S.A. (100.0%)**

**Barrio Ugarte, s/n
48970 ELEXALDE-BASAURI (Bizkaia) ES**

72 Inventor/es:

**MIER VASALLO, Diana;
CIRIZA CORCUERA, Javier y
LARAUDOGOITIA ELORTEGUI, Juan Jose**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE OPTIMIZACIÓN DE LA LONGITUD DE CORTE DE PALANQUILLAS DE MEZCLA EN COLADAS SECUENCIALES DE ACEROS DE DIFERENTE CALIDAD.**

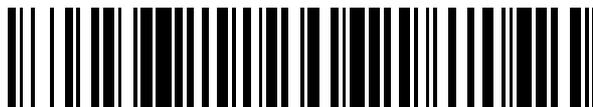
ES 2 445 466 A2

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 445 466**

21 Número de solicitud: 201231352

57 Resumen:

Procedimiento de optimización de la longitud de corte de palanquillas de mezcla en coladas secuenciales de aceros de diferente calidad.

Procedimiento de optimización de cálculo de la longitud de una palanquilla de mezcla en colada continua en la práctica de coladas secuenciales de diferente calidad, la cual está destinada a ser cortada como material de desecho, donde en el comienzo de dicho procedimiento, definido como tiempo cero en el estudio, se encuentra diluido, en una artesa, una cantidad inicial de un primer acero, con una composición del elemento i constituyente del acero: y_0 (Tn) en un volumen definido como V_0 (m³); y donde el procedimiento de optimización comprende las siguientes etapas:

a) evacuar dicho primer volumen de acero con un caudal de salida definido como Q_s (m³/min), el cual viene dado por la velocidad de colada, número de líneas de colada, formato final de la palanquilla;

b) alimentar, a partir de la etapa a), dicha artesa con un segundo acero con que comprende una segunda composición química; comprende una concentración determinada del elemento i definida como C_e (Tn i /Tn) y comprende un caudal de entrada máximo definido como Q_e (m³/min), correspondiente a una situación donde una corredera de paso está completamente abierta;

c) plantear un balance global a la artesa donde el caudal de entrada es igual al caudal de salida, más un término de acumulación definido como dV/dt ; donde V es el volumen en la artesa;

d) plantear un balance por componentes a través de una ecuación diferencial;

e) resolver dicha ecuación diferencial determinando la evolución de la concentración de los elementos constituyentes de cada tipo de acero, a lo largo de dicha palanquilla de mezcla, en función del peso remanente en la artesa, formato a fabricar y composiciones objetivo de las coladas; y

f) calcular la longitud teórica de corte como un compromiso entre la longitud necesaria para alcanzar la composición objetivo de la segunda colada de dicho segundo acero y unas horquillas de fabricación fijadas.

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de optimización de la longitud de corte de palanquillas de mezcla en coladas secuenciales de aceros de diferente calidad.

5

Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de optimización de la longitud de corte de palanquillas de mezcla resultantes en la práctica de coladas secuenciales de diferente calidad (SDC) en colada continua, donde dicho procedimiento tiene aplicación en el sector de la industria siderúrgica.

10

Este procedimiento tiene como finalidad la estimación de la longitud de una palanquilla que comprende la mezcla entre una pareja de aceros de diferente calidad, la cual está destinada a ser cortada como material de desecho y, por tanto, cuanta mayor sea la exactitud de corte, menor es el desaprovechamiento de material, así como menores demoras en la preparación y entrega de palanquillas a los respectivos clientes. El procedimiento objeto de invención permite estimar la longitud de la palanquilla de mezcla a través de una serie de etapas y formulación de fácil aplicación.

15

Antecedentes de la invención

20

En el proceso de colada continua existe una práctica denominada colada secuencial de aceros de diferente calidad, SDC, donde al terminar de colar una primera cuchara, se interrumpe la aportación de un primer acero, descendiendo el nivel de acero en una artesa hasta un nivel preestablecido. Es justo en ese momento cuando se procede a abrir una segunda cuchara y, en ese instante, se comienza a verter un segundo acero colándose en el molde un acero con una composición mezcla.

25

Un factor clave en el proceso, atendiendo a las necesidades de calidad y optimización de productividad, es la determinación de la longitud de la palanquilla de mezcla resultante, cuya composición química no corresponde a ninguna de las deseadas por los clientes. De este modo, los requerimientos de calidad exigen que la composición química sea uniforme a lo largo de toda la barra, y es por ello que las zonas de transición, deben de ser eliminadas mediante lo que se conoce como despuntes (deshechos de la colada continua).

30

A raíz de dicha problemática se recalca la importancia de la determinación exacta de esta zona de mezcla, ya que la realización de SDC's permite aumentar considerablemente la secuencialidad y producir un ahorro importante de pérdidas metálicas

35

Sin embargo, la determinación exacta de la longitud de las zonas de mezcla generadas es una labor extremadamente complicada, lo cual ha sido motivo de estudio durante los últimos años:

40

En este sentido cabe destacar estudios que datan de 1993, donde debido al desconocimiento de la longitud exacta de mezcla, e independientemente de las condiciones de colada, el despunte aplicado en todos los casos se tomaba como longitud constante. Esta metodología es inviable actualmente, ya que la elevada gama de aceros producidos comprenden composiciones muy variables y, por tanto, dan lugar a longitudes de mezcla muy diferentes para cada caso,; lo que hace indispensable el aplicar un cálculo matemático previamente establecido para la determinación de la longitud de dichos despuntes.

45

Numerosos autores han desarrollado modelos de simulación enfocados al conocimiento del flujo de acero líquido en el interior de la artesa, donde la mayor parte de los trabajos están centrados en el desarrollo de modelos físicos, basados en modelos de agua.

50

Este tipo de ensayos otorgan un muy valioso aporte con respecto al comportamiento de fluidos en reactores metalúrgicos, y permiten evaluar de forma rápida y económica fenómenos como la distribución del tiempo de residencia, tipo de flujo y zonas muertas o cortocircuitos de mezclas, mediante la inyección de trazadores en la corriente fluida.

55

Con este tipo de ensayos se puede adquirir un conocimiento cualitativo de las condiciones que minimizan la mezcla en la zona de transición; sin embargo la estimación de la longitud de corte de las palanquillas de mezcla mediante la aplicación de simulaciones de modelos de agua no tiene una elevada precisión, estando por tanto restringidos a estudios a nivel de laboratorio y de difícil validación industrial.

60

Asimismo, se conoce la existencia de numerosos artículos que contemplan la resolución de modelos matemáticos, los cuales son más precisos que los modelos de agua, como en el modelo anteriormente descrito y donde dichos modelos matemáticos están basados en la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes. Este tipo de metodología aporta un conocimiento cuantitativo de la longitud de mezcla teórica a aplicar en los despuntes (o palanquilla de mezcla), si bien tiene el inconveniente de que son modelos matemáticos extremadamente complejos, cuya resolución del conjunto de ecuaciones conlleva un elevado tiempo de cálculo.

65

Por otro lado, en la práctica de coladas secuenciales de diferente calidad se requiere modelizar situaciones correspondientes al estado transitorio, donde el volumen de la artesa varía significativamente, no siendo tales modelizaciones habituales en los documentos encontrados. Para este fin se pueden emplear los dos métodos anteriormente descritos, es decir, tanto la modelización física a través de modelos de agua, como la modelización matemática a través de las ecuaciones de Navier-Stokes, pero son las condiciones transitorias en cuanto a tonelaje en la artesa lo que dificulta mucho la labor de simulación, además de los inconvenientes previamente mencionados.

Es por ello que, a la vista de los antecedentes mencionados, y de los inconvenientes que presentan los procedimientos descritos anteriormente, se hace necesario la aparición de un nuevo procedimiento de optimización que permita subsanar tales desventajas, de forma que sea lo suficientemente sencillo y simple para obtener la longitud de la palanquilla de mezcla, minimizando los metros desechados y generando un ahorro económico mediante la reducción de pérdidas metálicas.

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de optimización de la longitud de corte de la palanquilla de mezcla en la práctica de coladas secuenciales de diferente calidad (SDC), la cual está destinada a ser cortada como material de desecho, donde en el comienzo de dicho procedimiento, definido como tiempo cero en el estudio, se encuentra diluido, en una artesa, una cantidad inicial de un primer acero, con una composición del elemento *i* constituyente del acero: $y_0(Tn)$ en un volumen definido como $V_0(m^3)$.

Donde dicho procedimiento objeto de invención comprende las siguientes etapas:

- a) evacuar dicho primer volumen de acero con un caudal de salida definido como $Q_s(m^3/min)$, el cual viene dado por la velocidad de colada, número de líneas de colada, formato final de la palanquilla;
- b) alimentar, a partir de la etapa a), dicha artesa con un segundo acero con que comprende una segunda composición química; comprende una concentración determinada del elemento *i* definida como $C_e(Tn\ i/Tn)$ y comprende un caudal de entrada máximo definido como $Q_e(m^3/min)$, correspondiente a una situación donde una corredera de paso está completamente abierta;
- c) plantear un balance global a la artesa donde el caudal de entrada es igual al caudal de salida, más un término de acumulación definido como dV/dt ; donde V es el volumen en la artesa, y el balance viene definido como:

$$V(m^3) = V_0 + (Q_e - Q_s) \left(\frac{m^3}{min} \right) \cdot t(min)$$

- d) plantear un balance por componentes a través de una ecuación diferencial, definida como:

$$C_e \left(\frac{Tn}{Tn} \right) \cdot V_e \left(\frac{Tn}{min} \right) = Q_s \cdot \frac{y(t)(Tn)}{V_0 + (Q_e - Q_s) \cdot t} + \frac{dy}{dt}$$

- e) resolver dicha ecuación diferencial determinando la evolución de la concentración de los elementos constituyentes de cada tipo de acero, a lo largo de dicha palanquilla de mezcla, en función del peso remanente en la artesa, formato a fabricar y composiciones objetivo de las coladas.

Es decir, para llegar a formular matemáticamente el procedimiento descrito, se simula una situación correspondiente al estado transitorio, donde el volumen de una artesa varía significativamente desde un volumen mínimo, viable desde el punto de vista operacional, hasta el volumen habitual de colada. Para ese fin se procede a resolver un conjunto de ecuaciones diferenciales basadas en la aplicación conjunta de los balances globales e individuales en dicha artesa.

De este modo se procede a plantear el balance global en la artesa, donde el caudal de entrada es igual al caudal de salida, más el término de acumulación definido como "dV/dt", y por tanto la variación de volumen en la artesa, "V", viene definido como:

$$V = V_0 + (Q_e - Q_s) \cdot t$$

De la misma manera se plantean los balances individuales a cada uno de los elementos constituyentes de cada tipo de acero especial según:

$$C_e \cdot V_e = Q_s \cdot \frac{y(t)}{V_0 + (Q_e - Q_s) \cdot t} + \frac{dy}{dt}$$

Donde dicha ecuación se corresponde a una ecuación diferencial lineal de primer orden inhomogénea cuya solución viene definida por la siguiente expresión matemática:

$$y(t) = \frac{1}{F(t)} \cdot \left[\int F(t) \cdot r(t) dt + K \right]$$

Siendo:

- $F(t) = e^{\int \frac{Q_s dt}{(V_0 + (Q_e - Q_s)t)}}$
- $r(t) = V_e \cdot C_e$
- K es la respuesta a las condiciones iniciales;
- t es el tiempo;
- V_e el caudal de entrada del segundo acero expresado en unidades de masa;
- C_e la composición de entrada del elemento i constituyente del segundo acero;

De este modo, la resolución de dicha ecuación permite determinar la evolución de la concentración de los elementos constituyentes de cada tipo de acero, a lo largo de dicha palanquilla de mezcla, en función del peso remanente en la artesa, formato a fabricar y composiciones objetivo de las coladas.

A partir del conocimiento de la evolución de la concentración de los elementos constituyentes de cada tipo de acero a lo largo de dicha palanquilla de mezcla, puede estimarse una longitud teórica de corte de la palanquilla de mezcla, la cual viene definida como un compromiso entre los metros necesarios para alcanzar la composición objetivo de la segunda colada según las ecuaciones descritas anteriormente, y las horquillas de fabricación permisibles por el cliente. Describiéndose por tanto una última etapa como:

- f) Calcular la longitud teórica de corte como un compromiso entre la longitud necesaria para alcanzar la composición objetivo de la segunda colada de dicho segundo acero según las ecuaciones de diseño establecidas, y unas horquillas de fabricación fijadas y permisibles por el cliente.

Posteriormente dicha formulación tiene la gran ventaja de poder ser programada introduciendo variables de entrada como:

- Formato de fabricación;
- Peso remanente en la artesa;
- Composiciones objetivo y horquillas de fabricación de las coladas.

Y donde con tales entradas se calcula, a partir del procedimiento descrito objeto de invención, los metros pertenecientes a la palanquilla de mezcla y que han de ser suprimidos para chatarra.

Tales resultados de longitudes permiten disminuir las pérdidas metálicas al evitar despuntes, y adicionalmente permiten realizar un mejor aprovechamiento de las instalaciones prestando especial atención al caso donde una predicción de longitud de corte de la palanquilla de mezcla errónea, necesita realizar despuntes adicionales que implican una serie de operaciones no previstas y, por tanto, un retraso en la salida de las coladas, con el consecuente gasto que ello supone, así como un deterioro de la imagen de la compañía.

Y en el caso contrario, cuando la predicción de la longitud de corte de la palanquilla se realiza por exceso, da lugar a que unas ingentes cantidades de material metálico vayan a parar a la palanquilla de mezcla y se genere una mayor carga de chatarra de lo necesaria.

Así pues, de acuerdo con la invención descrita, el procedimiento de optimización de la longitud de corte en coladas secuenciales de diferente calidad, objeto de invención, constituye una importante novedad en procedimientos de optimización pertenecientes al estado del arte, describiendo un proceso a seguir capaz de obtener una longitud de palanquilla exacta y, por tanto, poder ejecutar su corte sin el derroche de material útil.

Descripción de las figuras

5 En este caso, y debido a la no necesidad de complementar la descripción que se está realizando, no se acompaña como parte integrante de dicha descripción, ninguna serie de dibujos o figuras adicionales o explicativas acorde con la descripción realizada, al considerarse suficientemente clara y con las etapas correctamente descritas anteriormente.

Realización preferente de la invención

10 El procedimiento de optimización en colada continua de cálculo de la longitud de corte de palanquillas de mezcla en coladas secuenciales de diferente calidad comprende los siguientes pasos correlativos:

15 1.- En el comienzo de la DSC, definido como tiempo cero en el estudio, en la artesa se encuentra diluido una cantidad inicial de un primer acero, con una composición del elemento i constituyente del acero, " y_0 (Tn)" en un volumen definido como " V_0 (m^3)". La artesa evacúa dicho primer acero con un caudal de salida definido como " Q_s (m^3/min)", el cual viene dado por la velocidad de colada, número de líneas de colada y formato final de la palanquilla.

20 2.- Es en ese momento comienza a alimentarse, a dicha artesa, un segundo acero con una segunda composición química, y con una concentración determinada del elemento i definida como " C_e (Tn i /Tn)" y con un caudal de entrada máximo definido como " Q_e (m^3/min)", correspondiente a una situación donde la corredera de paso está completamente abierta.

25 3.- En este instante se plantea un balance global a la artesa donde el caudal de entrada es igual al caudal de salida, más el término de acumulación definido como " dV/dt "; y por tanto la variación de volumen en la artesa, definido dicho volumen como " V ", viene definida como:

$$V \text{ (m}^3\text{)} = V_0 + (Q_e - Q_s) \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) \cdot t \text{ (min)}$$

30 4.- Así mismo, al plantear un balance por componentes, se calcula la variación de la masa del componente i entre el primer y segundo acero, la cual viene definida como una ecuación diferencial inhomogénea:

$$C_e \left(\frac{\text{Tn}}{\text{Tn}} \right) \cdot V_e \left(\frac{\text{Tn}}{\text{min}} \right) = Q_s \cdot \frac{y(t)(\text{Tn})}{V_0 + (Q_e - Q_s) \cdot t} + \frac{dy}{dt}$$

35 5.- La resolución y combinación de dichas ecuaciones diferenciales permite determinar la evolución de la concentración de los elementos constituyentes de cada tipo de acero, a lo largo de dicha palanquilla de mezcla, en función del peso remanente en la artesa, formato a fabricar y composiciones objetivo de las coladas. La longitud teórica de corte viene definida como un compromiso entre los metros necesarios para alcanzar la composición objetivo de la segunda colada del segundo acero, y las horquillas de fabricación permisibles por el cliente.

45 A la vista de esta descripción el experto en la materia podrá entender que las realizaciones de la invención que se han descrito pueden ser combinadas de múltiples maneras dentro del objeto de la invención. La invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero para el experto en la materia resultará evidente que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes sin exceder el objeto de la invención reivindicada.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento de optimización de cálculo de la longitud de una palanquilla de mezcla en colada continua en la práctica de coladas secuenciales de diferente calidad, la cual está destinada a ser cortada como material de desecho, donde en el comienzo de dicho procedimiento, definido como tiempo cero en el estudio, se encuentra diluido, en una artesa, una cantidad inicial de un primer acero, con una composición del elemento i constituyente del acero: y_0 (Tn) en un volumen definido como V_0 (m^3); y estando el procedimiento de optimización **caracterizado** por que comprende las siguientes etapas:

- a) evacuar dicho primer volumen de acero con un caudal de salida definido como Q_s (m^3/min), el cual viene dado por la velocidad de colada, número de líneas de colada, formato final de la palanquilla;
- b) alimentar, a partir de la etapa a), dicha artesa con un segundo acero con que comprende una segunda composición química; comprende una concentración determinada del elemento i definida como C_e (Tn i/Tn) y comprende un caudal de entrada máximo definido como Q_e (m^3/min), correspondiente a una situación donde una corredera de paso está completamente abierta;
- c) plantear un balance global a la artesa donde el caudal de entrada es igual al caudal de salida, más un término de acumulación definido como dV/dt ; donde V es el volumen en la artesa, y el balance viene definido como:

$$V (m^3) = V_0 + (Q_e - Q_s) \left(\frac{m^3}{min} \right) \cdot t (min)$$

- d) plantear un balance por componentes a través de una ecuación diferencial, definida como:

$$C_e \left(\frac{Tn}{Tn} \right) \cdot V_e \left(\frac{Tn}{min} \right) = Q_s \cdot \frac{y(t)(Tn)}{V_0 + (Q_e - Q_s) \cdot t} + \frac{dy}{dt}$$

- e) resolver dicha ecuación diferencial determinando la evolución de la concentración de los elementos constituyentes de cada tipo de acero, a lo largo de dicha palanquilla de mezcla, en función del peso remanente en la artesa, formato a fabricar y composiciones objetivo de las coladas; y
- f) calcular la longitud teórica de corte como un compromiso entre la longitud necesaria para alcanzar la composición objetivo de la segunda colada de dicho segundo acero y unas horquillas de fabricación fijadas.