

PRODUCTOS DE COQUE DE FUNDICIÓN Y SISTEMAS, DISPOSITIVOS Y MÉTODOS ASOCIADOS

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

- 5 [0001] La presente solicitud reivindica el beneficio de prioridad de la solicitud de patente provisional de EE. UU. No. 63/275,896, presentada el 4 de noviembre de 2021, cuya descripción se incorpora a la presente mediante esta referencia en su totalidad.

CAMPO TÉCNICO

- 10 [0002] Esta divulgación se refiere a productos de coque de fundición y a sistemas, dispositivos y métodos asociados.

ANTECEDENTES

- 15 [0003] El coque se puede dividir en varias subcategorías. El coque de fundición tiene un gran tamaño en relación con el coque de granallado y es de una calidad excepcional, incluidas unas impurezas relativamente bajas y un contenido en carbono, una resistencia y una estabilidad relativamente altos. El coque de fundición se utiliza en los cubilotes de las fundiciones para fundir el hierro y fabricar productos de fundición y fundición dúctil. Sin embargo, el costo de producción del coque de fundición, incluido el costo de fabricación, el
- 20 costo de transporte y el costo ambiental, es alto. Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de mejorar el proceso de producción para obtener así coque de fundición de alta calidad con un rendimiento mayor o un costo menor.

- 25 [0004] El coque es un combustible de carbono sólido y una fuente de carbono producido a partir del carbón que se utiliza en la producción de acero. El carbón se puede obtener a partir de una combinación de diferentes fuentes de carbón y, a menudo, posee calidades y composiciones muy diferentes. Estos recursos pueden utilizarse como combustible o materia prima para una amplia gama de aplicaciones, como la producción de acero, la producción de cemento y la generación de electricidad. Además, la diversidad de entornos normativos o incentivos económicos puede crear requisitos adicionales para los tipos de
- 30 carbón que una fundición, fábrica o planta específica está autorizada a utilizar.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0005] Las características, aspectos y ventajas de la tecnología actualmente descrita se pueden comprender mejor con respecto a los siguientes dibujos.

[0006] La FIG. 1 muestra un sistema esquemático ilustrativo para obtener parámetros de carbón para múltiples tipos de carbón y determinar una formulación de mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0007] La FIG. 2 representa una vista isométrica parcial en corte de una parte de una planta de coque de recuperación de calor horizontal, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0008] La FIG. 3 ilustra una partícula de coque configurada para calentarse en un cubilote de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0009] La FIG. 4 representa un producto de coque de fundición ilustrativo y una tabla de propiedades del coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0010] La FIG. 5 es un gráfico que indica el rendimiento del producto de coque de fundición de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0011] La FIG. 6 es un gráfico que indica el tamaño de las partículas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0012] La FIG. 7 es un gráfico que indica las propiedades de rotura por caída de 4 pulgadas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0013] La FIG. 8 es un gráfico que indica las propiedades de rotura por caída de 6 pulgadas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0014] La FIG. 9 es un gráfico que indica una fracción de masa de cenizas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0015] La FIG. 10 es un gráfico que indica una fracción de masa de humedad, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0016] La FIG. 11 es un gráfico que indica una fracción de masa de azufre, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0017] La FIG. 12 es un gráfico que representa fracciones de masa de SiO_2 frente a las fracciones de masa de Al_2O_3 en las cenizas de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0018] La FIG. 13 es un gráfico que representa las fracciones de masa de Fe_2O_3 frente a las fracciones de masa de CaO en las cenizas de productos de coque de fundición, de acuerdo

con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0019] La FIG. 14 es un gráfico que representa las temperaturas de reblandecimiento de cenizas frente a las temperaturas de fusión de cenizas modelo de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0020] La FIG. 15 es un gráfico que representa las temperaturas de reblandecimiento de las cenizas frente a las fracciones de masa de cenizas de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0021] La FIG. 16 es un gráfico que representa las temperaturas de fusión de cenizas observadas frente a las temperaturas de fusión de cenizas modelo de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0022] Un experto en la técnica comprenderá que las características mostradas en los dibujos son ilustrativas, y que son posibles variaciones, incluyendo características y disposiciones diferentes o adicionales de las mismas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

I. Descripción general

[0023] El coque de fundición es un coque de un tamaño relativamente grande y de una calidad excepcional, como un contenido muy bajo de impurezas y un contenido muy alto de carbono fijo, resistencia y estabilidad. El coque de fundición se utiliza en hornos de cubilote para fundir hierro y acero reciclado y como fuente de carbono para fabricar productos de fundición y hierro dúctil. Sin embargo, el coste de producción del coque de fundición, que incluye el coste de fabricación, el coste de transporte y el coste medioambiental, es elevado.

Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de mejorar el proceso de producción para obtener así coque de fundición de alta calidad con un rendimiento mayor o un costo menor. El coque elaborado tradicionalmente suele tener una temperatura de fusión de cenizas (AFT) superior a 2650 grados Fahrenheit (°F). Debido a esta alta temperatura, las cenizas se derriten más profundamente en el cubilote, lo que reduce la superficie disponible para el coque expuesta al metal fundido. Como resultado, se transfiere menos carbono al hierro.

[0024] Los productos de coque aquí divulgados para la presente tecnología tienen una AFT inferior a 2600 °F y, por lo tanto, funden más alto en el cubilote, aumentando así la cantidad

de superficie de carbono expuesta al metal fundido. Además, desde el punto de vista de la viscosidad, una AFT baja permite que la ceniza fundida se mueva a través del lecho de carbón más rápidamente y da lugar a una mejor separación de fases en la sección del pozo del cubilote para permitir un mayor contacto entre el carbón y el metal fundido. Tal como se utiliza en el presente documento, el término "metal fundido" se refiere a hierro fundido, acero fundido o la mezcla fundida final de hierro fundido y acero fundido.

[0025] Una AFT puede obtenerse de varias maneras y puede separarse en diferentes tipos de AFT. En algunas modalidades, se puede medir una AFT a partir de una muestra de ceniza creada al quemar un carbón, una mezcla de carbón o un producto de coque hasta su finalización. El análisis elemental de ceniza se puede realizar en cada elemento; por ejemplo, los átomos de silicio individuales crean una señal en el instrumento analítico. Para obtener un valor de porcentaje en masa utilizado para el cálculo del modelo de fusión de cenizas, algunas modalidades de la presente tecnología pueden tratar todos los elementos como completamente oxidados y determinar un porcentaje en masa basado en formas oxidadas. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar la masa de SiO_2 pero no la masa de Si. En algunas modalidades, los porcentajes en masa de SiO_2 , Al_2O_3 , FeO_3 , CaO , otros compuestos, etc., se pueden normalizar para sumar hasta 100 %.

[0026] Alternativa o adicionalmente, una AFT se puede medir mediante una prueba de AFT, tal como un método D1857 estándar de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM). Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una temperatura de deformación inicial (IDT), una temperatura de reblandecimiento (ST), una temperatura hemisférica (HT) y una temperatura de flujo (FT). Estas temperaturas medidas pueden tener valores diferentes entre sí y pueden usarse para caracterizar un carbón, una mezcla de carbón o un producto de coque en particular. Además, como se analiza en otra parte, la composición de las cenizas que quedan de la combustión de un carbón o mezcla de carbón se considera la misma que la de las cenizas que quedan después de la combustión de un producto de coque producido a partir del carbón o de la mezcla de carbón. Algunas modalidades pueden caracterizar una composición de cenizas de mezcla de carbón como el promedio ponderado de las composiciones de cenizas de los componentes de carbón ponderadas por sus respectivas fracciones de masa en la mezcla de carbón.

[0027] Además, el funcionamiento tradicional también puede agregar rocas que contienen CaCO_3 a la carga para usarlas como fundente para eliminar las cenizas. El CaCO_3 penetra en las cenizas para bajar la AFT, o la propia ceniza se disuelve en las rocas que contienen CaCO_3 . Dada la muy baja relación superficie-volumen para que se produzca el fundente, esta es una forma ineficaz de introducir un agente fundente. En función del descubrimiento inesperado del impacto de una AFT baja en la transferencia de carbono deseada que se describe en este documento, el coque se puede "prefundir" seleccionando carbones o mezclas de carbón que tengan cenizas que sean proporcionalmente más altas en los óxidos de bajo punto de fusión, tales como CaO , MgO , Fe_2O_3 , Na_2O y K_2O , que en los óxidos de alto punto de fusión de Al_2O_3 y SiO_2 .

[0028] En un cubilote de fundición, el coque se utiliza como combustible y fuente de carbono para producir hierro fundido. El coque proporciona cuatro funciones en el cubilote: (1) proporciona calor de la combustión para fundir el hierro o el acero; (2) suministra carbono al hierro; (3) proporciona soporte estructural para la carga de hierro o acero; y (4) crea capas permeables a los gases que permitan que los gases viajen hacia arriba y se propaguen para proporcionar un buen contacto con el hierro o el acero.

[0029] Algunas modalidades pueden realizar las operaciones descritas en esta divulgación para producir productos de coque que permitan una mayor tasa de transferencia de carbono al hierro o acero durante las operaciones de fundición, lo que puede dar como resultado un mejor rendimiento del cubilote. Algunas modalidades pueden usar uno de varios tipos de hornos para producir productos de coque, tales como un horno de recuperación de calor, un horno sin recuperación, un horno Thompson, otro tipo de horno horizontal, un horno de subproducto vertical, etc. Algunas modalidades pueden producir productos de coque descritos en esta divulgación usando una o más operaciones descritas en la solicitud de patente de EE. UU. No. 17/736,960, titulada "FOUNDRY CAKE PRODUCTS, AND ASSOCIATED SYSTEMS AND METHODS", cuya divulgación se incorpora aquí como referencia en su totalidad.

II. Mezclas de carbón para producir productos de coque de fundición y sistemas y métodos asociados

[0030] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar operaciones para aumentar la eficiencia de las operaciones de producción de productos de coque de una

manera que pueda reducir el consumo de energía y aumentar el rendimiento. Estas operaciones pueden incluir determinar la composición de las mezclas de carbón utilizadas para producir un producto de coque, en donde la composición de una mezcla de carbón puede incluir carbones de diferentes fuentes de carbón. Algunas modalidades pueden seleccionar carbones específicos por su contenido de VM, en donde el contenido y la distribución de VM pueden determinar el efecto en el rendimiento del producto de coque, las propiedades del producto de coque, etc. Algunas modalidades pueden realizar además procesos específicos al producir un producto de coque con un horno de coque, en donde tales procesos pueden incluir abrir o cerrar válvulas de un horno de coque para mantener ciertas relaciones de temperatura dentro de las secciones del horno de coque. Estos resultados pueden dar como resultado productos de coquización que son únicos en comparación con otros productos de coquización con respecto a la reactividad, el tamaño u otras propiedades.

[0031] La Fig. 1 muestra un sistema ilustrativo 100 para obtener parámetros de carbón para múltiples tipos de carbón 112-116 (denominados colectivamente "carbones 110") y determinar una formulación de mezcla de carbón 140, de acuerdo con una o más modalidades. Se pueden utilizar diversas instalaciones y equipos para mezclar los 110 carbones de diversas fuentes para formar la mezcla de carbón 140. En algunas modalidades, no todos los tipos de carbón mostrados en la FIG. 1 se utilizan para formar la mezcla de carbón 140 (por ejemplo, sólo se usan carbón tipo A 112 y carbón tipo B 113). Cada uno de los carbones 110 se puede probar usando un sistema de medición de parámetros de carbón 120 para determinar los parámetros del carbón, tales como una fracción de masa VM, medición de la composición de cenizas, medición de la composición de azufre, composición de materia inerte, etc. Algunas modalidades también pueden usar otras propiedades del carbón, como la fluidez del alquitrán en el carbón y AFT para el carbón, reflectancia de vitrinita, etc., al seleccionar el tipo o la cantidad de carbones a usar para una mezcla de carbón. Alternativa o adicionalmente, algunas modalidades de la presente tecnología pueden obtener parámetros del carbón de una fuente de datos de terceros (por ejemplo, una interfaz de programa de aplicación (API) de base de datos, o la entrada manual de un usuario en un dispositivo de entrada, tal como un teclado o una pantalla táctil, etc.).

[0032] En algunas modalidades, los parámetros del carbón pueden considerar mediciones

de componentes reactivos o subtipos de componentes reactivos, tales como vitrinita, liptinita y semifusinita reactiva. Los parámetros del carbón también pueden incluir mediciones o seleccionar una cantidad de material inerte para incluir en una mezcla de carbón, tal como brisa, semifusinita inerte, fusinita, macrinita y materia mineral. En algunas modalidades, el contenido inerte de una mezcla de carbón puede ser mayor o igual al 32,0 %, o puede restringirse a un intervalo particular, tal como entre 28,0 % y 40,0 %, o entre 33,0 % y 35,0 %. Algunas modalidades pueden determinar el tipo y la cantidad de carbones, brisa y otros componentes de una mezcla de carbón para satisfacer un conjunto de parámetros de mezcla de carbón objetivo o el parámetro de mezcla de coque objetivo correspondiente, tal como un parámetro de mezcla de carbón objetivo, que indica un coque uniforme fuerte. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden seleccionar los tipos de vitrinitas que están presentes en una mezcla de carbón, en donde los tipos de vitrinita pueden incluir uno o más de V9, V10, V11, V12, V13, V14, V15, V16, V17, V18 y V19. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir mezclas de carbón que tienen los parámetros descritos en la solicitud de patente de EE. UU. No. 17/736,960, titulada "FOUNDRY COKE PRODUCTS, AND ASSOCIATED SYSTEMS AND METHODS".

[0033] Después de obtener los parámetros de carbón para los carbones 110, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar combinaciones de tipos de carbón de los carbones 110. Por ejemplo, una primera combinación de tipos de carbón puede incluir 20 % de carbón tipo A 112, 30 % de carbón tipo B 113, 40 % de carbón tipo C 114 y 10 % de carbón tipo D 115. Algunas modalidades pueden representar cada combinación de tipos de carbón con un vector en un espacio de mezcla de n dimensiones, en donde " n " puede representar un número entero igual o menor que el número de tipos de carbón disponibles utilizables para generar una mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden representar la primera combinación con un vector [0,2, 0,3, 0,4, 0,1] para representar un punto de mezcla, en donde el punto de mezcla puede indicar la cantidad proporcional de cada carbón en la mezcla de carbón. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden agregar aditivos a una mezcla de carbón. Dichos aditivos pueden incluir óxido de calcio, piedra caliza, un material que contiene calcio, trona, ceniza de soda, soda cáustica, escoria (por ejemplo, escoria de fusión con bajo contenido de cenizas, escoria de horno de oxígeno básico (BOF), escoria de

cubilote, etc.), hierro, níquel, potasio, magnesio, sodio, sulfato de calcio, lana de roca, biocarbón o biomasa (por ejemplo, una biomasa con bajo contenido de AFT). Alternativa o adicionalmente, algunas modalidades de la presente tecnología pueden agregar aditivos minerales, tales como dolomita, otros minerales que contienen calcio, minerales que contienen hierro, minerales que contienen magnesio o minerales que contienen sodio. Algunas modalidades pueden usar óxidos metálicos como aditivos para una mezcla de carbón, tales como Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O o TiO , óxidos de metales de transición y minerales calcinados. Algunas modalidades pueden agregar aditivos de haluro metálico, como CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl . Algunas modalidades pueden agregar aditivos de sulfatos metálicos a una mezcla de carbón, como CaSO_4 . Algunas modalidades pueden agregar aditivos minerales de aluminio o silicio a una mezcla de carbón, como cuarzo, moscovita o feldespato. Algunas modalidades pueden agregar aditivos de desechos industriales o corrientes de reciclaje, tales como escoria de alto horno, escoria de cubilote de fundición, finos metálicos, desechos de paneles de yeso, subproductos de gas de plantas de desulfuración de gases de combustión (por ejemplo, cenizas volantes), cenizas volantes de plantas de quema de carbón, vapor de recuperación de calor. lodo de lavado del generador o carbón sin lavar.

[0034] Una vez que se agrega un aditivo, la mezcla de carbón puede tener una fracción de masa de calcio, una fracción de masa de cal, una fracción de masa de trona, una fracción de masa de ceniza de sosa, una fracción de masa de sosa cáustica, una fracción de masa de escoria de fusión baja en cenizas, una fracción de masa de escoria BOF, una fracción de masa de escoria de cúpula, una fracción de masa de hierro, una fracción de masa de níquel, una fracción de masa de potasio, una fracción de masa de magnesio, una fracción de masa de sodio, una fracción de masa de sulfato de calcio, una fracción de masa de lana de roca, una fracción de masa de biocarbón, una fracción de masa de biocarbón, una fracción de masa de biomasa u otra fracción de masa de aditivo que es mayor que 0 % pero menor que un umbral predeterminado. El umbral puede variar según modalidades particulares y se puede configurar de modo que la fracción de masa del aditivo sea inferior al 10,0 %, inferior al 5,0 %, inferior al 3,0 %, inferior al 1,0 %, etc. Utilizando un pequeño cantidad de los aditivos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden reducir significativamente el valor de fusión de la ceniza u otra propiedad que aumente la eficiencia de un producto de coque. Alternativa o adicionalmente, algunas modalidades de la presente

tecnología pueden incluir una mayor cantidad de aditivos, en donde la mezcla de carbón puede incluir más del 10,0 % de un aditivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar un aditivo que tiene una fracción en masa de óxido de calcio superior al 70,0 %, en donde la inclusión del aditivo puede aumentar la fracción en masa de óxido de calcio de una mezcla de carbón a más del 10,0 %. A menos que se indique lo contrario, una fracción de masa de un elemento puede referirse al elemento mismo, a los compuestos que contienen el elemento o a ambos. Por ejemplo, una fracción en masa de calcio puede referirse a una fracción en masa de solo calcio en un material, una fracción en masa de óxido de calcio, o una fracción en masa de otro compuesto que contiene calcio, o una fracción en masa combinada de cualquier combinación de los mismos, etc.

[0035] En muchos casos, la VM del carbón incluye vitrinita, en donde la vitrinita se puede clasificar según su reflectancia u otras propiedades físicas. Algunos sistemas pueden clasificar la vitrinita según los tipos de vitrinita V8 a V18, en donde los diferentes carbones pueden incluir diferentes distribuciones de tipos de vitrinita. Como se usa en esta divulgación, un carbón de alta volatilidad se puede caracterizar por tener una fracción de masa de VM que es mayor que un umbral de fracción de masa de VM, en donde diferentes sistemas pueden definir un carbón de alta volatilidad usando un umbral diferente. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden caracterizar un carbón de alta volatilidad como un carbón que tiene una fracción de masa VM que es mayor o igual al 28,0 %. Algunas modalidades pueden usar otros umbrales de fracción de masa de VM para caracterizar una VM de alta volatilidad, tal como 25,0 %, 27,0 %, 30,0 %, 31,0 %, o algún otro umbral mayor o igual a 25,0 %.

[0036] Como se usa en esta divulgación, un carbón de alta volatilidad se puede caracterizar por tener una fracción de masa de VM que es mayor que un umbral de fracción de masa de VM, en donde diferentes sistemas pueden definir un carbón de alta volatilidad usando un umbral diferente. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden caracterizar un carbón de baja volatilidad como un carbón que tiene una fracción de masa VM que es menor o igual al 20,0 %, si bien se puede usar un valor diferente al 20 %, tal como 14,0 %, 15,0 %, 17,0 %, 21,0 %, etc. Algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar otros umbrales de fracción de masa de VM para caracterizar una VM de alta volatilidad como una VM mayor que el umbral de fracción de masa. El umbral de fracción de masa puede ser igual a un valor tal como 14,0 %, 15,0 %, 21,0 %, 22,0 %, 23,0 % o algún

otro umbral menor o igual a 25,0 %.

[0037] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden caracterizar o caracterizar parcialmente un carbón de baja volatilidad con respecto a un carbón de alta volatilidad usando una diferencia predeterminada, en donde la diferencia predeterminada puede incluir un valor superior al 1,0 %, tal como 2,0 %, 3,0 %, 4,0 %, 8,0 % o algún otro valor. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden establecer la diferencia entre un primer umbral usado como umbral para un carbón de alta volatilidad y un segundo umbral usado como umbral para un carbón de baja volatilidad igual al 4,0 %, en donde una selección del 30 % como primer umbral puede hacer que un sistema seleccione automáticamente el 26 % como segundo umbral. Alternativamente, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar o permitir que un valor alternativo sea el segundo umbral, tal como 21 %. Al establecer los umbrales utilizados para definir un carbón de alta volatilidad y un carbón de baja volatilidad o definir una diferencia entre los dos umbrales, algunas modalidades de la presente tecnología también pueden definir automáticamente un carbón de volatilidad media como aquellos carbones que no son carbones de alta volatilidad o carbones de baja volatilidad.

[0038] Esta descripción se refiere a la AFT de mezclas de carbón o productos de coque. La AFT de un producto de coque se puede determinar de varias maneras, como mediante observación experimental (AFT observada) o mediante un modelo empírico (modelo AFT).

A menos que se especifique lo contrario, el término "fusión de cenizas" puede referirse a un modelo empírico de fusión de cenizas o a una fusión de cenizas observada. Como se discutirá en otra parte, una AFT puede ser menor o igual a 2600 °F, menor o igual a 2450 °F, menor o igual a 2400 °F, menor o igual a 2350 °F, menor que o igual a 2300 °F, menor o igual a 2250 °F, menor o igual a 2200 °F, menor o igual a 2150 °F, menor o igual a 2100 °F, menor o igual a 2050 °F, menor o igual a 2000 °F, menor o igual a 1950 °F, menor o igual a 1900 °F, menor o igual a 1850 °F, o menor o igual a 1800 °F.

[0039] En algunas modalidades, se puede determinar un modelo empírico de AFT a partir de los compuestos restantes de una ceniza generada a partir de la combustión de un producto de coque. Cuando el valor de la AFT se limita a un intervalo, estos modelos empíricos pueden servir para formar un límite de composición en un espacio de parámetros de composición multidimensional. Los parámetros de composición del espacio de parámetros pueden representar cantidades de un elemento o compuesto en un material o

grupo de materiales, en donde las cantidades pueden incluir fracciones de masa compuestas de sus correspondientes compuestos, fracciones volumétricas, etc. Mediante el uso de diferentes modelos empíricos o intervalos diferentes para una AFT, algunas modalidades restringen la ceniza de un producto de coque a diferentes regiones en un espacio de parámetros de composición, lo que luego puede restringir la composición del producto de coque en sí. Por ejemplo, los modelos empíricos para la fusión de cenizas se pueden definir en las ecuaciones 1-3 siguientes, en donde "AFT" puede ser un modelo de temperatura de fusión de cenizas en grados Celsius (°C), "SiO₂_fracción_masa" puede ser una fracción en masa SiO₂ de la ceniza del producto de coque ("cenizas del producto de coque"), "Al₂O₃_fracción_masa" es una fracción en masa de Al₂O₃ de la ceniza del producto de coque, "Fe₂O₃_fracción_masa" es una fracción de masa de Fe₂O₃ de la ceniza del producto de coque; "CaO_fracción_masa" es una fracción en masa de CaO de las cenizas del producto de coque; "MgO_fracción_masa" es una fracción en masa de MgO de las cenizas del producto de coque; y "K₂O_fracción_masa" es una fracción en masa de K₂O de las cenizas del producto de coque:

$$\text{AFT} = 19 \times (\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}) + 15 \times (\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}} + \text{TiO}_2_{\text{fracción_masa}}) + 10 \times (\text{CaO_fracción_masa} + \text{MgO_fracción_masa}) + 6 \times (\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} + \text{Na}_2\text{O_fracción_masa}) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{AFT} = 19 \times (\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}) + 15 \times (\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}} + \text{TiO}_2_{\text{fracción_masa}}) + 10 \times (\text{CaO_fracción_masa} + \text{MgO_fracción_masa}) + 6 \times (\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} + \text{Na}_2\text{O_fracción_masa} + \text{K}_2\text{O_fracción_masa}) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{AFT} = 401,5 + (26,3 \times \text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}} + 40,7 \times \text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}) - 11,0 \times \text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} - 7,9 \times \text{CaO_fracción_masa} - 112 \times \text{MgO_fracción_masa} \quad \text{Ecuación 3}$$

[0040] Algunas modalidades pueden aplicar diferentes modelos basados en diferentes composiciones. Por ejemplo, basándose en una determinación de que una fracción en masa de Al₂O₃ y SiO₂ en la composición de cenizas de una mezcla de carbón está entre 65 % y 80 %, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar la Ecuación 3 para calcular un modelo AFT, y de lo contrario, usar la Ecuación 2 para calcular el modelo AFT.

Algunas modalidades pueden usar diferentes modelos para diferentes operaciones de optimización. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar la Ecuación 3 para optimizar una mezcla de carbón seleccionada para la producción de coque para que tenga un contenido menor de Al_2O_3 y SiO_2 mientras tiene un mayor contenido de Fe_2O_3 y CaO . Además, si bien algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar un modelo AFT conocido, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar ecuaciones AFT modelo novedosas. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar la Ecuación 1 para determinar una AFT, en donde la Ecuación 1 se puede encontrar en el Capítulo 8 del Cupola Handbook, 6ª ed., © 1999, American Foundrymen's Society, Inc., que está incorporada como referencia en el presente documento, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar otros modelos AFT, como los descritos en la Ecuación 2 o la Ecuación 3. Se pueden imponer otras limitaciones sobre las fracciones de masa de los componentes de una mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir una mezcla de carbón que tiene un contenido de alúmina Al_2O_3 de cenizas de una mezcla de carbón inferior al 10,0 %, inferior al 7,0 %, inferior al 6,0 %, inferior al 5,0 %, etc.

[0041] Al restringir una AFT a un límite específico, algunas modalidades de la presente tecnología pueden restringir la composición de una ceniza. En algunas modalidades, el límite específico puede abarcar una región de temperatura tal como 982 °C (1800 °F) a 1204 °C (2200 °F), 1204 °C (2200 °F) a 1426 °C (2600 °F), o 982 °C a 1426 °C. Si la ceniza es un producto de ceniza generado al quemar un producto de coque, las restricciones en la composición de la ceniza dan como resultado una restricción en el producto de coque del propio producto de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar un producto de coque que tiene ciertas cantidades de Al, Si, Ti, Ca, Mg, Fe, Na o K de modo que la combustión del producto de coque dé como resultado una ceniza que tiene la composición que satisface la Ecuación 2. Se pueden utilizar varios límites de composición en una ceniza de producto de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar un producto de coque de manera que un modelo de AFT del producto de coque determinado por la Ecuación 3 esté dentro de un límite de AFT. Por ejemplo, el límite AFT puede ser un intervalo de temperatura entre 1260 °C (2300 °F) y 1427 °C (2600 °F), entre 1260 °C y 1371 °C (2500 °F), entre 1260 °C y 1316 °C (2400 °F), o entre 1260 °C y 1427 °C. En algunas modalidades, un límite inferior de la temperatura

puede ser un valor diferente, como 982 °C (1800 °F) o un valor inferior a 1288 °C, como 816 °C (1500 °F), 649 °C (1200 °F), o algún otro valor inferior a 1288 °C.

[0042] Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden limitar una AFT para que sea aproximadamente un valor objetivo, en donde un parámetro es aproximadamente un valor objetivo si el parámetro está dentro del 10 % del valor absoluto del valor objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden limitar una AFT a aproximadamente 982 °C (1800 °F), 1204 °C (2200 °F), 1260 °C (2300 °F), 1288 °C (2350 °F), 1316 °C (2400 °F), 1343 °C (2450 °F), 1371 °C (2500 °F), 1399 °C (2550 °F), o 1427 °C (2600 °F).

[0043] En algunas modalidades, una formulación de mezcla de carbón puede incluir propiedades específicas, tales como un valor de fusión de cenizas menor o igual a 2400 °F, que equivale a ser menor que 1316 °C. Algunas modalidades pueden recomendar o producir una mezcla de carbón que contiene carbones con fracción de masa de VM baja y carbones con fracción de masa de VM alta sin incluir necesariamente carbones con fracción de masa de VM media. Por ejemplo, una mezcla de carbón puede tener un perfil bimodal de carbones con alto VM y bajo VM dentro de la mezcla de carbón. En tal perfil bimodal, los carbones de una mezcla de carbón pueden incluir solo un primer y segundo conjunto de carbones, en donde un primer conjunto de carbones de la mezcla de carbón puede incluir solo carbones con alto contenido de VM que tengan una fracción de masa de VM superior al 30,0 %, y un segundo conjunto de carbones de la mezcla de carbón puede incluir únicamente carbones con bajo contenido de VM que tengan una fracción de masa de VM inferior al 22,0 %.

[0044] Algunas modalidades pueden asignar el punto de mezcla a un punto de parámetro de carbón correspondiente en un espacio de parámetros de carbón ("punto de parámetro de carbón"), en donde cada dimensión en el espacio de parámetros de carbón puede representar un parámetro de carbón. En algunas modalidades, se puede determinar una dimensión de un punto de parámetro de carbón como una combinación lineal de los carbones 110 ponderados por los valores del punto de mezcla correspondiente. Por ejemplo, una mezcla de carbón puede incluir una mezcla de dos tipos de carbón que incluye 50 % de carbón tipo A 112 y 50 % de carbón tipo B 113. Si el carbón tipo A 112 tiene un porcentaje en masa de VM igual al 15 % y el carbón tipo B tiene un porcentaje en masa de VM igual al 25 %, el porcentaje en masa de VM de la mezcla de carbón puede ser igual al promedio medio de los dos porcentajes de masas de VM, 20 %.

[0045] Algunas modalidades pueden obtener un conjunto de parámetros de carbón objetivo, en donde un parámetro de carbón objetivo puede proporcionarse como un valor predeterminado, proporcionado mediante entrada de datos manual, obtenido de un almacén de datos de terceros, proporcionado a través de un mensaje electrónico, etc. Por ejemplo, el parámetro objetivo del carbón puede incluir un índice de reactividad del coque (CRI) o un valor de resistencia del coque después de la reacción (CSR). En algunas modalidades, el CRI o CSR puede ser ingresado manualmente por un usuario, obtenido de una base de datos, recibido a través de una API, etc. Algunas modalidades pueden usar un modelo basado en un conjunto de parámetros del carbón para determinar un conjunto correspondiente de los parámetros del coque. El modelo puede incluir un modelo estadístico, un modelo analítico semiempírico, un modelo de red neuronal, un modelo de simulación física, etc. Como se describe en otra parte de esta divulgación, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar un modelo que tenga en cuenta para relaciones no lineales entre los parámetros del carbón y los parámetros del coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar una red neuronal, tal como una red neuronal de alimentación directa, para predecir un conjunto de parámetros de coque.

[0046] En algunas modalidades, la red neuronal se puede entrenar con datos pasados. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden entrenar una red neuronal basada en mezclas pasadas y resultados de las mezclas donde los resultados pueden incluir propiedades de coque tales como una CSR, un porcentaje de pérdida de peso, un CRI u otro parámetro de coque que no es lineal con respecto a un parámetro de carbón relacionado. De forma alternativa, o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar un modelo basado en física analítica o un modelo semianalítico para predecir un parámetro de coque. El uso de una red neuronal u otros métodos no lineales para predecir los parámetros del coque basándose en los parámetros del carbón puede ser ventajoso debido a los efectos no lineales asociados entre los parámetros del carbón y los parámetros del coque. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden proporcionar entradas adicionales al modelo de red neuronal, como un parámetro de brisa, una cantidad de brisa utilizada, etc.

[0047] Algunas modalidades pueden adaptarse a cambios en la disponibilidad de diferentes tipos de carbón. Por ejemplo, una mina fuente de carbón tipo A 112 puede cerrarse, una

línea de transporte que transporta carbón tipo A 112 puede retrasarse significativamente, un entorno regulatorio puede hacer que el uso de ciertos carbones sea inviable, etc. En respuesta a una determinación de que un tipo de carbón usado en una mezcla de carbón no está disponible o se espera que no esté disponible, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar una formulación de mezcla de carbón alternativa que se asigna a una posición en un espacio de parámetros de carbón que está dentro de un umbral de distancia de un primer punto en el espacio de parámetros del carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar originalmente una primera mezcla de carbón que es 20 % de carbón tipo A en peso, en donde la primera mezcla de carbón se asigna a un primer punto en un espacio de parámetros de carbón que incluye una relación de masa VM de 25 %, una proporción en masa de azufre del 0,4 % y una proporción en masa de cenizas del 6 %, etc. Después de recibir un mensaje que indica que el carbón tipo A está restringido al 5 % (por ejemplo, como resultado de una caída en el inventario), algunos Las modalidades de la presente tecnología pueden realizar un conjunto de operaciones para determinar una o más combinaciones adicionales que satisfagan las restricciones de uso del tipo de carbón y el espacio de parámetros del carbón. En los casos en los que el primer punto de parámetro de carbón no se puede lograr mientras está limitado por la disponibilidad del tipo de carbón, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una formulación de mezcla de carbón alternativa que se asigna a un punto de parámetro de carbón que está dentro de un umbral de distancia espacial de parámetro de carbón del primer punto de parámetro de carbón.

[0048] Algunas modalidades pueden usar el punto de mezcla para determinar la mezcla de carbones para agregar y procesar para la mezcla de carbón 140. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar operaciones descritas en esta descripción para determinar un punto de mezcla que indica una mezcla de carbón que incluye 20 % de carbón tipo A 112, 30 % de carbón tipo B 113, 40 % de carbón tipo C 114 y 10 % de carbón tipo D 115 y combinar carbón en estas proporciones respectivas en la mezcla de carbón 140. Algunas modalidades pueden proporcionar entonces el carbón mezclado en un horno de coque 150, en donde algunas modalidades de la presente tecnología pueden agregar brisa de coque 111 al horno de coque 150 para crear un producto de coque que tiene propiedades de coque similares o iguales a un conjunto de propiedades de coque objetivo.

[0049] La Fig. 2 representa una vista isométrica en corte parcial de una parte de una planta de coque de recuperación de calor horizontal, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Un horno 200 de la planta de coque puede incluir varios conductos, cámaras, válvulas, sensores u otros componentes descritos en la solicitud de patente de EE. UU. No. 17/736,960, titulada "FOUNDRY COKE PRODUCTS, AND ASSOCIATED SYSTEMS AND METHODS". Por ejemplo, el horno 200 puede incluir una cavidad abierta definida por un piso del horno 202, una puerta del horno lateral del empujador 204, una puerta del horno lateral del coque 206 opuesta a la puerta del horno lateral del empujador 204, paredes laterales opuestas 208 que se extienden hacia arriba desde el piso del horno 202 y entre la puerta del horno lateral del empujador 204 y la puerta del horno lateral del coque 206, y una corona del horno 210, que forma una superficie superior de la cavidad abierta de una cámara del horno 212. Además, el horno 200 puede incluir un conjunto de entradas de aire de corona 214 que permiten que el aire de combustión primaria entre en la cámara del horno 212. En algunas modalidades, el conjunto de entradas de aire de la corona 214 puede penetrar la corona del horno 210 y permitir una comunicación fluida abierta entre la cámara del horno 212 y el entorno fuera del horno 200. En algunas modalidades, el flujo de aire a través de entradas de aire o conductos de aire (por ejemplo, un conducto de absorción) puede controlarse mediante compuertas, que pueden configurarse en cualquiera de una serie de estados entre un estado completamente abierto y un estado completamente cerrado para variar una cantidad de flujo de aire. Por ejemplo, las entradas de aire de la corona 214 pueden incluir una compuerta que se puede configurar en diferentes estados para permitir el flujo de aire hacia la corona del horno 210, tal como una compuerta de aire de entrada de la corona 216, que funciona de manera similar. Si bien las modalidades de la presente tecnología pueden usar entradas de aire de corona 214, exclusivamente, para proporcionar aire de combustión primaria a la cámara del horno 212, se pueden usar otros tipos de entradas de aire, tales como las entradas de aire de puerta, en modalidades particulares sin apartarse de aspectos de la tecnología actual.

[0050] Como se analizó anteriormente, el control del tiro en el horno 200 u otras operaciones en el horno 200 se pueden implementar mediante sistemas de control usando operaciones descritas en la solicitud de EE. UU. 17/736,960, titulada "FOUNDRY COKE PRODUCTS, AND ASSOCIATED SYSTEMS AND METHODS". Tales operaciones pueden incluir operaciones de un ciclo de coquización, que puede incluir cargar una mezcla de carbón en

el horno 200, controlar la compuerta de admisión 236 para que se configure en cualquiera de varios estados entre completamente abierto y completamente cerrado, etc. Una vez completado el ciclo de coquización, algunas modalidades de la presente tecnología pueden coquear una mezcla de carbón para producir un producto de coque útil para producir acero con un horno de cubilote. En algunas modalidades, los productos de coque de fundición se pueden usar en un horno de cubilote usando las operaciones descritas en la solicitud de patente de EE. UU. No. 18/052,739, titulada "FOUNDRY COKE PRODUCTS AND ASSOCIATED SYSTEMS AND PROCESSING METHODS VIA CUPOLAS", cuya divulgación se incorpora aquí como referencia en su totalidad. En algunas modalidades, el producto de coque se puede retirar del horno 200 a través de la puerta 206 del horno del lado del coque con un ariete empujador u otro sistema de extracción mecánico. En algunas modalidades, el coque puede enfriarse (por ejemplo, enfriarse en húmedo o en seco) y dimensionarse antes de su entrega a un usuario.

III. Productos de coque de fundición y sistemas, dispositivos y métodos asociados

[0051] La ilustra una partícula de coque configurada para calentarse en un cubilote de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Como se muestra en la FIG. 3, C(b) = carbono a granel, S(b) = azufre a granel, Cenizas (b) = cenizas a granel, C(s) = carbono superficial, S(s) = azufre superficial, Cenizas (s) = cenizas superficiales (que se acumula a partir del núcleo que se contrae), Fe(s) = Fe superficial, C*(s) = superficie de carbón activo, FeC, S*(s) = superficie de azufre activo, FeS, C(l) = carbono en líquido, y S(l) = azufre en líquido. La partícula de coque 300 incluye un núcleo 305 que se contrae debido a la disolución de carbono en un cubilote, en donde la partícula de coque 300 puede estar rodeada por un líquido a granel 320. A medida que el núcleo 305 de la partícula de coque 300 se contrae, por ejemplo, debido a la oxidación y/o combustión del carbono de la partícula de coque 300, comienzan a formarse capas de difusión que comprenden ceniza y hierro que están radialmente hacia afuera del núcleo 305. Por ejemplo, la partícula de coque 300 puede incluir una primera capa de difusión de ceniza 310 ("primera capa de difusión 310") que comprende ceniza que está radialmente hacia afuera del núcleo 305 y rodea al menos parcialmente el núcleo 305, y una segunda capa de difusión de hierro 315 ("segunda capa de difusión 315") que está radialmente hacia afuera del núcleo 305 y la primera capa de difusión 310 y rodea al menos parcialmente la primera capa de difusión 310.

[0052] La primera capa de difusión 310 puede ser sólida o líquida, y puede bloquear eficazmente la superficie del coque, o bajar el área de transferencia de masa a través de la superficie del coque hacia el metal líquido circundante. Adicional o alternativamente, la primera capa de difusión 310 permite que la oxidación y/o combustión del carbono de la partícula de coque se retrase en el tiempo y/o la temperatura, de modo que el coque no produzca monóxido de carbono en la región de secado y en su lugar se oxide y se queme en la región de reacción del cubilote. La primera capa de difusión 310 que comprende ceniza se forma en parte debido a la temperatura de fusión de la ceniza del producto de coque, que está directamente relacionada con la composición de la partícula de coque 300. Como se describe en otra parte del presente documento, la temperatura de fusión de las cenizas del coque es más baja que la de los productos de coque tradicionales y no puede superar los 2650 °F, 2600 °F, 2550 °F, 2500 °F, 2450 °F, 2400 °F, 2350 °F, 2300 °F, 2250 °F, 2200 °F, 2150 °F, 2100 °F, 2050 °F, 2000 °F, 1950 °F, 1900 °F, 1850 °F, o dentro del intervalo de 1800–2600 °F, 1800–2500 °F, 1900–1300 °F, o 2000–2200 °F. Esta temperatura de fusión de cenizas relativamente baja puede permitir la formación de la capa de cenizas de difusión, por ejemplo, en la región de secado del cubilote, que evita la cocción del coque, o más particularmente el núcleo 305, antes de la región de reacción. Adicional o alternativamente, esta temperatura de fusión de cenizas relativamente baja puede optimizar el tiempo de contacto entre el coque 300 y el metal dentro del cubilote una vez que el metal se funde y se funde en la región de reacción del cubilote. Como resultado, se puede transferir más carbono del coque 300 al metal. Esto contrasta con los productos de coque convencionales, que pueden tener una temperatura de fusión de ceniza más alta que da como resultado que la ceniza se forme más profundamente (es decir, aguas abajo) de la región de reacción y, por lo tanto, limita el tiempo de contacto entre el coque y el metal fundido, lo que limita el tiempo de contacto entre el coque y el metal fundido, lo que resulta en una transferencia de carbono relativamente menor.

[0053] La segunda capa de difusión 315 se forma a medida que la partícula de coque 300 se calienta dentro del cubilote y el núcleo de coque 305 se contrae. La segunda capa de difusión puede limitar aún más la cocción del coque dentro de la región de secado y/o ayudar a garantizar que la gran mayoría de la combustión y oxidación del coque no se produzca hasta que el coque 300 llegue a la región de reacción. Adicional o alternativamente, el carbono y el azufre pueden competir entre sí para pasar a través de la segunda capa de

difusión 315. Es decir, la presencia de azufre puede disminuir de manera indeseable la tasa de transferencia de carbono desde y fuera del coque 300. En algunas modalidades, el coque puede estar prefundido y/o incluir (por ejemplo, dopado con) un aditivo (por ejemplo, calcio, hierro, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxido de hierro, óxido de sodio y óxido de potasio, y/o u otros óxidos que tienen un punto de fusión relativamente bajo) que actúa como material catalítico. Como ejemplo, el sodio puede actuar como agente prefundente y el hierro puede actuar como agente prefundente y catalítico. El material catalítico puede atrapar azufre y utilizarse allí para hacer fluir el azufre fuera del coque. En algunas modalidades, el coque prefundido es el resultado de seleccionar carbones para producir el coque que tienen materiales de ceniza proporcionalmente más altos en los óxidos descritos anteriormente. Esto contrasta con los productos de coque que pueden agregar partículas/rocas de óxido de calcio o carbonato de calcio como fundente para eliminar las cenizas, ya que tales métodos son ineficientes debido a la muy baja relación superficie-volumen para que realmente se produzca el fundente. Además, el coque prefundido y/o los agentes catalíticos pueden promover la deposición de carbono a través de la reacción de Boudouard, generando así más calor y aumentando la cantidad de carbono que está presente dentro de la región de reacción (por ejemplo, la zona de combustión) del cubilote. Sin estar ligado a ninguna teoría, los agentes prefundentes pueden alterar la temperatura de liquidez de la escoria (por ejemplo, escoria 116; FIG. 1) o, más particularmente, pueden alterar la temperatura de liquidez de las cenizas en la superficie o el interior del coque, que se mezcla con la escoria a granel.

[0054] La química del coque mejorada tiene como objetivo aumentar la disolución del carbono de la partícula de coque 300 en el metal (es decir, el hierro o el acero) dentro del cubilote. En funcionamiento, a medida que el carbono se disuelve en el hierro líquido a granel dentro del cubilote, el núcleo de coque 305 se contrae y las cenizas y las impurezas se acumulan en la superficie. Además, tanto el carbono como el azufre se disocian de la superficie, lo que puede verse favorecido por la actividad catalítica del Fe, Ni y otros metales. Una temperatura de fusión de cenizas más baja, representada por una temperatura de fusión de cenizas (como se describe en otra parte del presente documento), permite una eliminación de cenizas mejorada mediante una conversión más rápida de las cenizas en una fase líquida y reduce la resistencia de las cenizas. El carbono y el azufre se difunden a través de la fina capa de difusión del hierro. Además, el carbono y el azufre son competitivos

y resistentes a la disolución o transferencia entre sí. Como tal, un bajo contenido de azufre en el coque mejora la transferencia de carbono. Además, los productos de coque que tienen un índice de reactividad de coque alto (CRI) o una fuerza de coque baja después de la reacción (CSR) (como se describe en otro lugar en el presente documento) permiten que
5 más formas de carbono reactivo se disocian de la superficie, aumentando así la velocidad de disolución del carbono.

[0055] Varios metales añadidos a un producto de coque de fundición producido a partir de una mezcla de carbón mediante cenizas en la mezcla de carbón o introducidos de otro modo en el producto de coque de fundición pueden proporcionar funciones catalíticas que
10 aumentan la velocidad de disolución del carbono. En algunas modalidades, un elemento con múltiples estados de oxidación (por ejemplo, un metal) puede cambiar los estados de oxidación en un producto de coque para proporcionar actividad catalítica. Por ejemplo, un producto de coque puede incluir sodio, que puede pasar de un estado no oxidado Na a un primer estado de oxidación iónico Na^+ . Alternativa, o adicionalmente, un producto de coque
15 puede incluir hierro, que puede pasar de un estado no oxidado Fe a los estados oxidados Fe^{2+} o Fe^{3+} . Además, el producto de coque puede incluir los elementos en estado de multioxidación en forma oxidada. Por ejemplo, el producto de coque puede incluir Na^+ en forma de sal o Fe^{3+} en forma de Fe_2O_3 . El producto de coque también puede incluir otros tipos de metales, como níquel, cobre, etc. El material catalítico incrustado en el producto de
20 coque aumenta la disolución del carbono durante la producción de acero porque al menos parte del material catalítico permanecerá en contacto con la interfaz entre el producto de coque y un baño de hierro líquido durante la producción de acero.

[0056] La FIG. 4 representa un producto de coque de fundición ilustrativo y una tabla de propiedades del coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente
25 tecnología. Algunas modalidades pueden usar un horno de coque, tal como el horno 200 de la FIG. 2, para producir un producto de coque de fundición 400. En algunas modalidades, el producto de coque de fundición 400 puede tener una forma generalmente oblonga y puede tener dimensiones diferentes o similares a lo largo de una primera longitud 412, una segunda longitud 414 o una tercera longitud 416. Por ejemplo, la primera longitud 412 puede
30 ser mayor que 6,0 pulgadas (por ejemplo, 9,0 pulgadas), la segunda longitud puede ser mayor que 2,5 pulgadas (por ejemplo, 4,0 pulgadas), y la tercera longitud puede ser mayor que 2,5 pulgadas (por ejemplo, 4,0 pulgadas). En algunas modalidades, una o más

longitudes de la forma del producto de coque de fundición 400 pueden limitarse a un valor máximo. Por ejemplo, la primera longitud 412 puede estar entre 6,0 pulgadas y 12,0 pulgadas.

[0057] Debido a las variaciones en la forma específica de los productos de coque de fundición, un producto de coque de fundición puede caracterizarse por una variedad de diámetros hidráulicos. Por ejemplo, el producto de coque de fundición 400 puede tener un diámetro hidráulico que es mayor o igual a 1,0 pulgadas, mayor o igual a 2,0 pulgadas, o mayor o igual a 3,0 pulgadas, etc. En algunas modalidades, el diámetro hidráulico de un producto de coque de fundición puede ser mayor que un diámetro real del producto de coque de fundición debido a la geometría de la sección transversal del producto de coque de fundición.

[0058] La tabla 450 incluye un conjunto de atributos del producto de coque de fundición 400. Los atributos de los productos de coque de fundición que se muestran en la tabla 450 pueden caracterizar los productos de coque producidos mediante las operaciones descritas en esta divulgación. Dichos atributos pueden ser ventajosos para las operaciones de fundición, como tener valores de AFT más bajos en comparación con los productos de coque convencionales. Estos valores AFT más bajos se pueden representar de varias formas, como los valores IDT o ST. Por ejemplo, la muestra "S4" que se muestra en la tabla 450 tiene un IDT de fusión de cenizas igual a 2150 °F (1177 °C). Algunas modalidades pueden realizar operaciones para reducir una fusión con bajo contenido de cenizas a un producto de coque basándose en un umbral de AFT o un intervalo objetivo de fusión de cenizas.

[0059] En algunas modalidades, un valor de AFT objetivo o un intervalo de AFT puede variar según el tipo de valor de fusión de cenizas que se utilice. En algunas modalidades, un producto de coque producido puede tener un IDT que está entre 2100 °F y 2400 °F. Algunas modalidades pueden incluir límites más estrictos para los productos de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden incluir un producto de coque que tiene un IDT que está entre 2100 °F (1149 °C) y 2250 °F (1232 °C). Algunas modalidades pueden cambiar las mezclas de carbón, los tiempos de inmersión o las duraciones en diferentes posiciones de la compuerta para satisfacer un IDT objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden seleccionar una mezcla de carbón o determinar las operaciones del horno basándose en un valor IDT objetivo de

aproximadamente 2100 °F, aproximadamente 2150 °F, aproximadamente 2200 °F, aproximadamente 2250 °F, aproximadamente 2300 °F, aproximadamente 2350 °F o aproximadamente 2400 °F. En algunas modalidades, se puede establecer un tiempo de inmersión que comience después de que se alcance una temperatura máxima de la corona u otra temperatura máxima. Alternativamente, se puede establecer un tiempo de remojo que comience después de que la temperatura única del conducto de humos o la temperatura de la corona comiencen a disminuir sin ningún flujo de gas. Además, el tiempo de remojo se puede reducir debido al mayor tiempo de coquización de una duración de pirólisis, en donde el tiempo de remojo puede ser inferior a 10,0 horas, menos de 5,0 horas o incluso menos de 1,0 hora. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar varios tiempos de ciclo totales, y pueden caracterizar una operación basada en una relación de un tiempo de remojo a una duración de pirólisis, en donde la proporción puede ser inferior al 33,0 %, inferior al 15,0 %, inferior al 5,0 %, o menos que algún otro umbral que sea inferior al 50 %.

[0060] De manera similar, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque usando operaciones descritas en esta divulgación que tienen un ST que está dentro de un intervalo específico, tal como entre 2150 °F y 2500 °F. Algunas modalidades pueden implementar operaciones que satisfagan un intervalo más estricto para un ST, como modificar operaciones para producir productos de coque que tengan un ST entre 2150 °F y 2300 °F. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden cambiar las mezclas de carbón, los tiempos de remojo o las duraciones en diferentes posiciones de las compuertas para satisfacer un objetivo de ST. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden seleccionar una mezcla de carbón o determinar las operaciones del horno en función de un valor de ST objetivo de aproximadamente 2100 °F, aproximadamente 2150 °F, aproximadamente 2200 °F, aproximadamente 2250 °F, aproximadamente 2300 °F, aproximadamente 2350 °F, aproximadamente 2400 °F, aproximadamente 2450 °F o aproximadamente 2500 °F. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden establecer un valor de IDT objetivo como una función de un valor de ST objetivo.

[0061] De manera similar, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque usando operaciones descritas en esta descripción que tienen un HT que está dentro de un intervalo especificado, tal como entre 2200 °F y 2350 °F. Algunas

modalidades pueden implementar operaciones que satisfacen un intervalo más estricto para un HT, tal como operaciones de modificación para producir productos de coque que tienen un HT entre 2150 °F y 2300 °F. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden cambiar las mezclas de carbón, los tiempos de remojo o las duraciones en diferentes posiciones de la compuerta para satisfacer un HT objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden seleccionar una mezcla de carbón o determinar las operaciones del horno en función de un valor de HT objetivo de aproximadamente 2200 °F, aproximadamente 2250 °F, aproximadamente 2300 °F, aproximadamente 2350 °F, aproximadamente 2400 °F, aproximadamente 2450 °F o aproximadamente 2500 °F.

[0062] De manera similar, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque usando operaciones descritas en esta descripción que tienen un FT que está dentro de un intervalo especificado, tal como un FT entre 2250 °F y 2600 °F. Algunas modalidades pueden implementar operaciones que satisfacen un intervalo más estricto para un FT, tal como operaciones de modificación para producir productos de coque que tienen un FT entre 2250 °F y 2400 °F. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden cambiar las mezclas de carbón, los tiempos de remojo o las duraciones en diferentes posiciones de las compuertas para satisfacer un FT objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden seleccionar una mezcla de carbón o determinar las operaciones del horno en función de un valor objetivo de FT de aproximadamente 2250 °F, aproximadamente 2300 °F, aproximadamente 2350 °F, aproximadamente 2400 °F, aproximadamente 2450 °F, aproximadamente 2500 °F, aproximadamente 2550 °F o aproximadamente 2600 °F.

[0063] Algunas modalidades pueden producir productos de coque que satisfacen múltiples intervalos objetivo para diferentes tipos de valores de AFT. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden incluir un producto de coque que tiene un IDT entre 2100 °F y 2250 °F, un ST entre 2150 °F y 2300 °F, un HT entre 2200 °F y 2350 °F, o un FT entre 2250 °F y 2400 °F. Alternativa o adicionalmente, son posibles varias otras combinaciones de intervalos objetivo para un producto de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden incluir un producto de coque que tiene un IDT entre 2100 °F y 2250 °F, un ST entre 2150 °F y 2300 °F, un HT entre 2200 °F y 2350 °F y un FT entre 2250 °F y 2400 °F.

[0064] Algunas modalidades pueden generar productos de coque que tienen AFT que están dentro de varios límites de composición para satisfacer un valor AFT. Por ejemplo, algunas modalidades producen productos de coque que tienen una AFT que es mayor que 2300 °F o menor que 2600 °F. Algunas modalidades pueden incluir tolerancias más estrictas para la producción o selección de productos de coque para uso posterior, tal como entre 1800 °F y 2600 °F, entre 2200 °F y 2500 °F, entre 2300 °F y 2400 °F, entre 2400 °F y 2600 °F, o entre 2500 °F y 2600 °F.

[0065] Algunas modalidades pueden utilizar las operaciones descritas en la presente descripción para producir un producto de coque caracterizado por tipos específicos de valores AFT. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene un ST AFT entre 982 °C (1800 °F) y 1427 °C (2600 °F), 1177 °C (2150 °F) y 1371 °C (2500 °F) o un producto de coque que tiene un HT AFT entre 1204 °C (2200 °F) y 1371 °C (2500 °F), o una temperatura de flujo AFT (FT) entre 1232 °C (2250 °F) y 1371 °C (2500 °F).

[0066] Como se muestra en la tabla 450, el valor CRI de los productos de coque de fundición puede ser del 36,5 % u otro valor superior al 35 %. Algunas modalidades pueden implementar operaciones de producción de coque que producen lotes de coque de fundición que satisfacen uno o más umbrales de CRI. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden cambiar las duraciones entre cambios en las configuraciones de las compuertas o seleccionar entre diferentes posiciones de las compuertas en función de un umbral de CRI. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir fundición que tenga un CRI que sea al menos 25,0 %, al menos 30,0 %, al menos 35,0 %, al menos 40,0 %, al menos 45,0 %, u otro valor que sea al menos 30,0 %. Algunas modalidades pueden realizar operaciones para seleccionar productos de coque que tengan un CRI mayor que un umbral mínimo de CRI para uso posterior. En algunas modalidades, un CRI para un producto de coque puede indicar una pérdida de masa de una reacción, en donde un CRI mayor para un producto de coque puede indicar una mayor eficiencia o utilidad del producto de coque. En algunas modalidades, el CRI se puede calcular usando un modelo basado en propiedades conocidas de un producto de coque o de la mezcla de carbón utilizada para generar el producto de coque. Alternativa o adicionalmente, se puede obtener experimentalmente un CRI como una pérdida de peso medida utilizando un protocolo de prueba establecido. Por ejemplo, algunas modalidades pueden usar un método

de medición de CRI como el método ASTM D5341 para determinar un valor de CRI.

[0067] Como se muestra en la tabla 450, el valor de CSR de los productos de coque de fundición puede ser 26 %, 15,6 % u otro valor que sea mayor que un umbral de CSR tal como 7,0 %. Algunas modalidades pueden implementar operaciones de producción de coque que producen lotes de coque de fundición que satisfacen uno o más umbrales de CSR. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden cambiar las duraciones entre los cambios en las configuraciones de la compuerta o seleccionar entre diferentes posiciones de la compuerta en función de satisfacer un umbral de CSR objetivo, tal como un umbral de CSR que requiere que el coque de fundición tenga una CSR que sea menor o igual al 40,0 %, menor o igual al 35,0 %, menor o igual al 30,0 %, menor o igual al 25,0 %, menor o igual al 20,0 %, menor o igual al 15,0 %, menor o igual al 10,0 %, o menor o igual al 7,0 %.

[0068] Como se muestra en la tabla 450, una composición de SiO₂ en cenizas de producto de coque puede incluir 49,4 %, 48,9 %, 48,8 %, 49,1 % o 46,0 %. Otras modalidades pueden incluir otras fracciones de masa de SiO₂ en cenizas, tales como otros valores inferiores al 70 %, menos del 50,0 %, menos del 45,0 %, etc. En algunas modalidades, una fracción de masa de aproximadamente el 50,0 % de SiO₂ en el producto de coque, las cenizas pueden corresponder con una pequeña cantidad de SiO₂ en el propio producto de coque.

[0069] Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar productos de coque que tienen un contenido de carbono fijo (por ejemplo, una fracción de masa de carbono fija) que es mayor o igual a un umbral de carbono fijo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque de fundición que tienen una fracción de masa de carbono fijo mayor que 80,0 %, 85,0 %, 90,0 %, 90,5 %, 91,0 % o algún otro valor. En algunas modalidades, el contenido de carbono fijo puede ser un intervalo objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar un conjunto de operaciones para generar productos de coque que tienen un contenido de carbono fijo que es menor o igual al 94,5 % pero mayor o igual al 85,0 % (si bien otros intervalos de valores sean posibles, como por ejemplo entre 94,5 % y 85,0 %. Son posibles otros intervalos objetivo, como productos de coque que tienen un intervalo entre 90,0 % y 95,0 %, 85 % y 99 %, etc.

[0070] Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar productos de coque que tienen una fracción de masa de cenizas dentro de un intervalo objetivo limitado

o ilimitado. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque de fundición que tienen una fracción de masa de ceniza que es mayor o igual a 1,0 %, 5,0 %, 8,0 %, 9,0 %, 10,0 % o un valor mayor que 10,0 %. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden incluir un límite superior a una fracción de masa de ceniza. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque de fundición que tienen una fracción de masa de ceniza que es menor que 1,0 %, 5,0 %, 9,0 %, 10,0 % o un valor mayor que 10,0 %. Algunas modalidades pueden combinar estos límites superior e inferior de fracciones de masa de ceniza de modo que un producto de coque producido tenga un intervalo de 5,0 % a 10,0 %, 8,5 % a 9,0 %, 8,0 % a 10,0 %, 5,0 % a 15,0 %, etc.

[0071] La FIG. 5 es un gráfico que indica el rendimiento del producto de coque de fundición de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Como se muestra en la tabla 500, el rendimiento de fundición para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón usando las operaciones descritas en esta descripción puede variar. Como se muestra en el intervalo 502, el rendimiento puede variar entre aproximadamente 40 % y 60 % en algunas modalidades, en donde este rendimiento puede ser un rendimiento seco (es decir, la fracción de masa seca del producto de coque de fundición puede ser 40 % o 60 % de la fracción de masa seca de la población total de productos de coque). Como se muestra en el punto de datos 553, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado un rendimiento de aproximadamente el 57 %, si bien el rendimiento puede ser menor en otros casos. Por ejemplo, como lo muestra el punto de datos 551, el rendimiento en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, por ejemplo tan bajo como el 41 %. En muchos casos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que satisfacen un umbral de rendimiento mínimo, tales como operaciones que dan como resultado un rendimiento que es al menos 25 %, al menos 30 %, al menos 40 %, al menos 50 %, al menos 60 %, etc. Si bien algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones de optimización del controlador para aumentar el rendimiento, algunas modalidades de la presente tecnología pueden permitir que un rendimiento previsto sea menor que un rendimiento máximo esperado para satisfacer otros parámetros objetivo del producto de coque.

[0072] La FIG. 6 es un gráfico que indica el tamaño de las partículas, de acuerdo con una o

más modalidades de la presente tecnología. Como se muestra en la tabla 600, las longitudes medias de los lotes en pulgadas para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón usando las operaciones descritas en esta descripción pueden variar. Como se muestra mediante un intervalo 602, la longitud media del producto de coque puede variar entre aproximadamente 5,5 pulgadas y aproximadamente 7,5 pulgadas en algunas modalidades. Como se muestra mediante un punto de datos 653, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una longitud media del producto de coque que es de aproximadamente 7,4 pulgadas, si bien la longitud media del producto de coque puede ser menor en otros casos. Por ejemplo, como se muestra por un punto de datos 651, la longitud media del producto de coque en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, tal como ser tan baja como 5,5 pulgadas. En muchos casos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que satisfacen un umbral mínimo de longitud media del producto de coque, tales como operaciones que dan como resultado una longitud media del producto de coque que es de al menos 2,5 pulgadas, 4,0 pulgadas, 5,0 pulgadas, 6,0 pulgadas, 7,0 pulgadas, 8,0 pulgadas, 9,0 pulgadas o alguna otra longitud. En algunas modalidades, un producto de coque más grande puede dar como resultado operaciones de fundición más eficientes. Si bien algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones de optimización del controlador para aumentar la longitud media del producto de coque, algunas modalidades de la presente tecnología pueden permitir que la longitud media prevista del producto de coque sea menor que una longitud media máxima esperada del producto de coque para satisfacer otros parámetros objetivo del producto de coque.

[0073] La FIG. 7 es un gráfico que indica las propiedades de rotura por caída de 4 pulgadas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Como se muestra en la tabla 700, las tasas de supervivencia de rotura por caída de 4 pulgadas para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón usando las operaciones descritas en esta descripción pueden variar. Como se muestra en un intervalo 702, la tasa de supervivencia ante caídas de 4 pulgadas puede oscilar entre aproximadamente el 80 % y aproximadamente el 95 % en algunas modalidades. Como se muestra por un punto de datos 753, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una tasa de supervivencia de rotura por caída de 4 pulgadas que es aproximadamente 93 %, si bien la tasa de supervivencia de rotura por caída de 4 pulgadas puede ser menor en otros casos.

Por ejemplo, como se muestra por un punto de datos 751, la tasa de supervivencia de rotura de caída de 4 pulgadas en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, tal como ser tan baja como 81 %. En muchos casos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que satisfacen un umbral mínimo de tasa de supervivencia de rotura por caída de 4 pulgadas, tal como operaciones que dan como resultado una tasa de supervivencia de rotura por caída de 4 pulgadas que es al menos 80 %, al menos 85 %, al menos 90 %, o al menos 95 %, o al menos algún otro umbral de rotura por caída de 4 pulgadas. En muchos casos, una mayor tasa de supervivencia a la caída es útil para las operaciones de fundición posteriores porque más productos de coque sobreviven al transporte y al procesamiento posterior.

[0074] La FIG. 8 es un gráfico que indica las propiedades de rotura por caída de 6 pulgadas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Como se muestra en la tabla 800, las tasas de supervivencia de rotura por caída de 6 pulgadas para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón usando las operaciones descritas en esta descripción pueden variar. Como se muestra en un intervalo 802, la tasa de supervivencia de rotura por caída de 6 pulgadas puede variar entre aproximadamente 30 % y aproximadamente 80 % en algunas modalidades. Como se muestra mediante un punto de datos 853, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una tasa de supervivencia de rotura por caída de 6 pulgadas que es aproximadamente 80 %, si bien la tasa de supervivencia de rotura por caída de 6 pulgadas puede ser menor en otros casos. Por ejemplo, como se muestra por un punto de datos 851, la tasa de supervivencia de rotura por caída de 6 pulgadas en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, tal como ser tan baja como 30 %. En muchos casos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que satisfacen un umbral mínimo de tasa de supervivencia de rotura por caída de 6 pulgadas, tal como operaciones que dan como resultado una tasa de supervivencia de rotura por caída de 6 pulgadas que es al menos 60 %, al menos 70 %, al menos 80 %, o al menos algún otro umbral de rotura por caída de 6 pulgadas, en donde el umbral de rotura por caída de 6 pulgadas puede ser menor que un umbral de rotura por caída de 4 pulgadas.

[0075] La FIG. 9 es un gráfico que indica una fracción de masa de cenizas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Como se muestra en la tabla 900, las fracciones de masa de ceniza para diferentes lotes de productos de coque producidos a

partir de una mezcla de carbón usando las operaciones descritas en esta descripción pueden variar. Como se muestra en un intervalo 902, la fracción de masa de cenizas puede variar entre aproximadamente 7 % y aproximadamente 10 % en algunas modalidades. Como se muestra mediante un punto de datos 953, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una fracción de masa de cenizas que es aproximadamente 9,7 %, si bien la fracción de masa de cenizas puede ser menor en otros casos. Por ejemplo, como se muestra por un punto de datos 954, la fracción de masa de cenizas en algunas operaciones de producción de coque puede ser 8,8 %. De manera adicional o alternativa, como se muestra por el punto de datos 951, la fracción de masa de cenizas en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, tal como ser tan baja como 7,2 %.

[0076] En algunas modalidades, un contenido de cenizas de un producto de coque producido usando operaciones descritas en la presente descripción puede ser menor que un umbral de fracción de masa de cenizas, en donde el umbral de fracción de masa de cenizas puede ser 10,0 %, 9,0 %, 8,5 %, 8,0 %, 7,5 % u otro valor menor que 50,0 %. En algunas modalidades, la fracción de masa de cenizas puede ser no convencionalmente alta, tal como superior al 10,0 %. De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene un umbral de fracción de masa de cenizas que satisface un umbral de fracción de masa de cenizas que es menor que 10,0 %, menor que 9,0 %, menor que 8,5 %, menor que 8,0 %, menor que 7,5 % o menor que 7,0 %. Algunas modalidades pueden incluir cenizas dentro de un intervalo, tal como entre 5,5 % y 7,0 %, 6,0 % y 6,5 %, entre 8,0 % y 10,0 %, o entre algunos otros valores. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un conjunto de productos de coque que satisfacen un valor de fracción de masa objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene una fracción de masa de cenizas que satisface una fracción de masa de cenizas objetivo, en donde la fracción de masa de cenizas objetivo puede ser de aproximadamente 9,0 %, aproximadamente 8,5 %, aproximadamente 8,0 %, aproximadamente 7,5 % o aproximadamente 7,0 %.

[0077] En algunas modalidades, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que producen productos de coque que satisfacen un umbral mínimo de fracción de masa de cenizas, tal como productos de coque que tienen una

fracción de masa de cenizas que es al menos 7,0 %, al menos 8,0 %, al menos 9,0 %, o al menos alguna otra fracción de masa de cenizas. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar formulaciones de mezclas de carbón o realizar operaciones de hornos de coque que tienen una fracción de masa de cenizas que está dentro de un intervalo predefinido, tal como entre 7,0 % y 10,0 %.

[0078] La Fig. 10 es un gráfico 1000 que indica una fracción de masa de humedad, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Como se muestra en el gráfico 1000, las fracciones de masa de humedad del producto de coque para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón usando las operaciones descritas en esta descripción pueden variar. Como se muestra en un intervalo 1002, las fracciones de masa de humedad del producto de coque pueden variar entre aproximadamente 0 % y aproximadamente 15 % en algunas modalidades. Como se muestra en el punto de datos 1053, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una fracción de masa de humedad del producto de coque que es aproximadamente 15 %, si bien la fracción de masa de humedad del producto de coque puede ser menor en otros casos. Además, como se muestra por el punto de datos 1051, la fracción de masa de humedad del producto de coque en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, tal como ser tan baja como 0,5 %. En muchos casos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que satisfacen un umbral mínimo de fracción de masa de humedad del producto de coque, tal como operaciones que dan como resultado una fracción de masa de humedad del producto de coque que es al menos 7,0 %, al menos 8,0 %, al menos 9,0 %, o al menos alguna otra fracción de masa de humedad del producto de coque. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar formulaciones de mezcla de carbón o realizar operaciones de horno de coque que tienen una fracción de masa de humedad del producto de coque que está dentro de un intervalo predefinido, tal como entre 7,0 % y 10,0 %. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar formulaciones de mezcla de carbón o realizar operaciones de horno de coque que tienen una fracción de masa de humedad del producto de coque que es menor que un valor predefinido, tal como menor o igual a 10,0 %, menor o igual a 8,0 %, menor o igual a 7,0 %, menor o igual a 5,0 %, etc.

[0079] La Fig. 11 es un gráfico 1100 que indica una fracción de masa de azufre, de acuerdo

con una o más modalidades de la presente tecnología. Como se muestra en la tabla 1100, las fracciones de masa de azufre para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón usando las operaciones descritas en esta descripción pueden variar. Como se muestra en un intervalo 1102, las fracciones de masa de azufre pueden variar entre aproximadamente 0,60 % y aproximadamente 0,75 % en algunas modalidades. Como se muestra por un punto de datos 1153, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una fracción de masa de azufre que es aproximadamente 0,73 %, si bien la fracción de masa de azufre puede ser menor en otros casos. Además, como se muestra en el punto de datos 1151, la fracción de masa de azufre en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, tal como ser tan baja como 0,63 %.

[0080] En algunas modalidades, el contenido de azufre del producto de coque puede ser menor que un umbral de fracción de masa de azufre. Por ejemplo, el contenido de azufre de un producto de coque puede ser menor que 1,0 %, menor que 0,9 %, menor que 0,8 %, menor que 0,7 %, menor que 0,6 %, menor que 0,5 %, menor que 0,3 %, menor que 0,2 % o menor que 0,1 %. Algunas modalidades determinan la formulación de una mezcla de carbón, determinan un tiempo de remojo o determinan un programa de control de la compuerta para reducir la cantidad de azufre en un producto de coque. Además, se puede producir un producto de coque basándose en un valor de contenido de azufre objetivo, tal como una fracción de masa de azufre objetivo de 0,65 %. Como se describe en otra parte, al reducir el contenido de azufre de los productos de coque, algunas modalidades de la presente tecnología pueden mejorar la eficiencia de las operaciones de fundición.

[0081] La Fig. 12 es un gráfico 1200 que representa las fracciones de masa de SiO_2 frente a las fracciones de masa de Al_2O_3 en la ceniza de los productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. En algunas modalidades, un producto de coque se puede caracterizar en función de sus fracciones de masa de SiO_2 y Al_2O_3 o proporciones de estas fracciones de masa. Como se muestra en el gráfico 1200, diferentes muestras de cenizas de coque pueden indicar diferentes fracciones de masa o proporciones de fracciones de masa de SiO_2 y Al_2O_3 . Por ejemplo, el punto 1250 indica una muestra que tiene una fracción en masa de SiO_2 de aproximadamente 48,0 % y una fracción en masa de Al_2O_3 de aproximadamente 24,3 %, lo que sugiere que algunas cenizas de productos de coque pueden tener una proporción de aproximadamente 2:1 para una

relación de fracción de masa de SiO_2 a Al_2O_3 . Como lo indica el intervalo 1201, las fracciones de masa de SiO_2 de diferentes muestras pueden oscilar entre 48,0 % y 51,0 % en algunas modalidades. Además, como lo indica el intervalo 1202, las fracciones de masa de SiO_2 de diferentes muestras pueden variar entre 24,3 % y 28,4 % en algunas modalidades.

- 5 [0082] Algunas modalidades pueden producir un producto de coque que minimice la combinación de Al_2O_3 y SiO_2 o que tenga una cantidad baja de Al_2O_3 y SiO_2 . Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar operaciones que producen productos de coque de manera que las cenizas de los productos de coque tengan una fracción de masa combinada de Al_2O_3 y una fracción de masa de SiO_2 menor o igual al 65 %.
- 10 Al reducir la cantidad de Al y Si en un producto de coque, algunas modalidades de la presente tecnología pueden aumentar la eficiencia de las operaciones de fundición al reducir su interferencia con la disolución del carbono durante las operaciones de fundición.
- [0083] Algunas modalidades pueden producir un producto de coque o una mezcla de carbón utilizada para producir la mezcla de carbón que satisface otros umbrales para Al_2O_3 o SiO_2 .
- 15 Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque de manera que una fracción en masa de Al_2O_3 de la ceniza del producto de coque, o una ceniza de una mezcla de carbón utilizada para crear el producto de coque, sea menor que o aproximadamente 30 %, menos de o aproximadamente 25 %, o menos de o aproximadamente 20 %. De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la
- 20 presente tecnología pueden producir un producto de coque de modo que una fracción en masa de SiO_2 de la ceniza del producto de coque o una ceniza de una mezcla de carbón utilizada para crear el producto de coque sea menor que o aproximadamente 50 %, menor que o aproximadamente 45 %, menor que o aproximadamente 40 %, o menor que o aproximadamente 35 %.
- 25 [0084] De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque de modo que la suma de una fracción de masa de SiO_2 y una fracción de masa de Al_2O_3 de una ceniza del producto de coque o una ceniza de una mezcla de carbón utilizada para crear el producto de coque sea menor que o aproximadamente 80 %, menor que o aproximadamente 75 %, menor que o
- 30 aproximadamente 70 %, menor que o aproximadamente 65 %.
- [0085] La Fig. 13 es un gráfico 1300 que representa las fracciones de masa de Fe_2O_3 frente a las fracciones de masa de CaO en la ceniza de los productos de coque de fundición, de

acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. En algunas modalidades, un producto de coque se puede caracterizar en función de sus fracciones de masa de Fe_2O_3 y CaO o relaciones de estas fracciones de masa. Como se muestra en la tabla 1300, diferentes puntos de datos que representan muestras de ceniza de coque pueden indicar

- 5 diferentes fracciones de masa y relaciones de fracción de masa de Fe_2O_3 y CaO . Por ejemplo, el punto 1351 indica una muestra que tiene una fracción de masa de Fe_2O_3 de aproximadamente 12,1 % y una fracción de masa de CaO de aproximadamente 2,4 %. Además, el punto 1352 indica una muestra que tiene una fracción de masa de Fe_2O_3 de aproximadamente 15,0 % y una fracción de masa de CaO de aproximadamente 2,8 %.
- 10 Además, el punto 1352 indica una muestra que tiene una fracción de masa de Fe_2O_3 de aproximadamente 12,0 % y una fracción de masa de CaO de aproximadamente 4,5 %. Colectivamente, los puntos 1351 indican que las relaciones de fracción de masa de Fe_2O_3 y CaO para algunas muestras pueden variar entre aproximadamente 5:1 y aproximadamente 5:2 en algunas modalidades. Además, como lo indica el intervalo 1301,
- 15 las fracciones de masa de Fe_2O_3 de diferentes muestras pueden variar entre 11,0 % y 15,0 % en algunas modalidades. Además, como lo indica el intervalo 1302, las fracciones de masa de Fe_2O_3 de CaO pueden variar entre 2,5 % y 4,5 % en algunas modalidades.

- [0086] Algunas modalidades pueden producir un producto de coque usando operaciones para aumentar la cantidad de CaO en un producto de coque. Por ejemplo, algunas
- 20 modalidades de la presente tecnología pueden realizar operaciones que producen productos de coque de modo que la ceniza de los productos de coque tenga una fracción de masa de CaO que es mayor o igual a 3,0 %. Alternativamente, o adicionalmente, se pueden usar otros umbrales máximos de CaO . Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque de modo que la ceniza de los
- 25 productos de coque tenga una fracción de masa de CaO que sea mayor o igual a 10,0 %, mayor o igual a 9,0 %, mayor o igual a 8,0 %, mayor o igual a 7,0 %, mayor o igual a 6,0 %, mayor o igual a 5,0 %, mayor o igual a 4,0 %, mayor o igual a 3,0 %, mayor o igual a 2,0 %, mayor o igual a 1,0 %, etc. Algunas modalidades pueden crear un producto de coque a partir de una mezcla de carbón que tiene un alto contenido de CaO , en donde este contenido
- 30 puede determinarse mediante una composición de cenizas. Un contenido tan alto de CaO puede aumentar la velocidad de disolución de carbono del producto de coque.

[0087] La FIG. 14 es un gráfico 1400 que representa las temperaturas de reblandecimiento

de la ceniza frente a las temperaturas de fusión de cenizas modelo de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. En algunas modalidades, un producto de coque se puede caracterizar en función de sus valores ST de cenizas, valores AFT modelo o proporciones de estos dos valores.

5 Como se muestra en el gráfico 1400, diferentes muestras de cenizas de coque pueden tener diferentes valores de ST y AFT del modelo. Por ejemplo, el punto 1451 indica una muestra que tiene un valor ST de ceniza igual a t_{240} aproximadamente 2300 °F y un valor AFT modelo igual a aproximadamente 2450 °F. Además, el punto 1452 indica una muestra que tiene un valor de ST de ceniza igual a aproximadamente 2550 °F y un valor de AFT modelo
10 igual a aproximadamente 2580 °F. Además, como lo indica un intervalo 1401, el valor de ST de cenizas de diferentes muestras puede variar entre 2300 °F y 2600 °F en algunas modalidades. Además, como lo indica un intervalo 1402, los valores de AFT modelo de algunas muestras pueden variar entre 2450 °F y 2600 °F en algunas modalidades.

[0088] La Fig. 15 es un gráfico 1500 que representa las temperaturas de reblandecimiento
15 de ceniza frente a las fracciones de masa de ceniza de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. En algunas modalidades, un producto de coque se puede caracterizar en función de sus fracciones de masa de ceniza o valores de ST de ceniza observados. Como se muestra en la tabla 1500, diferentes muestras de ceniza de coque pueden indicar diferentes fracciones
20 de masa de ceniza y ST observadas para las diferentes muestras de ceniza. Por ejemplo, el punto 1551 indica una muestra que tiene un valor de ST igual a aproximadamente 2350 °F y una fracción de masa de ceniza de aproximadamente 7,8 %. Además, el punto 1352 indica una muestra que tiene un valor de ST igual a aproximadamente 2560 °F y una fracción de masa de ceniza de aproximadamente 8,1 %. Además, el punto 1353 indica una
25 muestra que tiene un valor de ST igual a aproximadamente 2500 °F y una fracción de masa de ceniza de aproximadamente 8,8 %. Algunas modalidades pueden producir productos de coque que tienen menor contenido de cenizas y menor AFT que los productos de coque que usan mezclas de carbón convencionales u operaciones convencionales. Al reducir la ceniza de un producto de coque disponible para acumularse en una superficie de coque, algunas
30 modalidades de la presente tecnología pueden mejorar así una velocidad de disolución de carbono durante una operación de fundición. De manera similar, al reducir la temperatura de fusión de las cenizas de un producto de coque, algunas modalidades de la presente

tecnología pueden mejorar la velocidad de disolución de las cenizas al reducir la temperatura requerida para las cenizas de una superficie de coque durante una operación de fundición.

[0089] En algunas modalidades, como lo indica el intervalo 1501, los valores de contenido de cenizas de diferentes muestras pueden variar entre 2300 °F y 2560 °F. Además, como lo indica el intervalo 1502, el contenido de cenizas puede variar entre aproximadamente 7,8 % a 8,8 %. Como se muestra en la tabla 1500, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene una fracción de masa de cenizas que es menor que 10,0 %, menor que 9,0 % o menor que otro umbral máximo de fracción de masa de cenizas. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar operaciones para mantener una cantidad mínima de producto de ceniza. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones de horno de coque para producir productos de coque que tengan al menos 1,0 % de ceniza, 5,0 % de ceniza, 7,0 % de ceniza, etc.

[0090] La Fig. 16 es un gráfico 1600 que representa las temperaturas de fusión de cenizas observadas frente a las temperaturas de fusión de cenizas modelo de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. El gráfico 1600 incluye un primer intervalo 1601, que indica el intervalo de valores de AFT observados que varían desde aproximadamente 1990 °F hasta aproximadamente 2800 °F. El gráfico 1600 incluye un segundo intervalo, que indica el intervalo de valores de AFT del modelo que oscilan entre 1900 °F y 2750 °F. Como se muestra en el gráfico 1600, los productos de coque pueden mostrar una correlación directa aproximada entre los valores de AFT del modelo y los valores de AFT observados.

[0091] De lo anterior, se apreciará que, si bien en el presente documento se han descrito modalidades específicas de la tecnología con fines ilustrativos, se pueden realizar diversas modificaciones sin desviarse del espíritu y alcance de la tecnología. Además, ciertos aspectos de la nueva tecnología descrita en el contexto de modalidades particulares se pueden combinar o eliminar en otras modalidades. Además, si bien las ventajas asociadas con ciertas modalidades de la tecnología se han descrito en el contexto de esas modalidades, otras modalidades también pueden exhibir tales ventajas, y no todas las modalidades necesitan necesariamente exhibir tales ventajas para caer dentro del alcance de la tecnología. En consecuencia, la divulgación y la tecnología asociada pueden abarcar

otras modalidades no mostradas o descritas expresamente en el presente documento. Por lo tanto, la divulgación no está limitada excepto por las reivindicaciones adjuntas.

IV. Conclusión

[0092] Será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar cambios en la información de las modalidades descritas anteriormente sin apartarse de los principios subyacentes de la presente divulgación. En algunos casos, las estructuras y funciones bien conocidas no se han mostrado ni descrito en detalle para evitar oscurecer innecesariamente la descripción de las modalidades de la presente tecnología. Si bien los pasos de los métodos se pueden presentar aquí en un orden particular, modalidades alternativas pueden realizar los pasos en un orden diferente. Además, ciertos aspectos de la nueva tecnología descrita en el contexto de modalidades particulares se pueden combinar o eliminar en otras modalidades. Además, mientras que las ventajas asociadas con ciertas modalidades de la presente tecnología pueden haber sido divulgadas en el contexto de esas modalidades, otras modalidades también pueden exhibir tales ventajas, y no todas las modalidades deben necesariamente exhibir tales ventajas u otras ventajas divulgadas en el presente documento para caer dentro del alcance de la tecnología. Por consiguiente, la divulgación y la tecnología asociada pueden abarcar otras formas de modalidad no mostradas o descritas expresamente en el presente documento, y la invención no está limitada excepto por las reivindicaciones adjuntas.

[0093] La referencia en el presente documento a "una modalidad", "algunas modalidades" o formulaciones similares significa que una característica, estructura, operación o característica particular descrita en relación con la modalidad puede incluirse en al menos una modalidad de la presente tecnología. Por lo tanto, las apariciones de tales frases o formulaciones en el presente documento no necesariamente se refieren todas a la misma modalidad. Además, se pueden combinar diversas características, estructuras, operaciones o características particulares de cualquier manera adecuada en una o más modalidades.

[0094] A menos que se indique lo contrario, todos los números que expresan porcentajes en peso, concentraciones, composiciones y otros valores numéricos utilizados en la especificación y las reivindicaciones deben entenderse modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". Por consiguiente, a menos que se indique lo contrario, los parámetros numéricos establecidos en la siguiente especificación y las reivindicaciones adjuntas son aproximaciones que pueden variar dependiendo de las propiedades deseadas

que se buscan obtener mediante la presente tecnología. Tal como se utiliza en esta divulgación, a menos que se revele lo contrario, se puede considerar que un valor es aproximadamente un valor objetivo si una diferencia entre el valor y el valor objetivo es menor o igual al 10 % del valor objetivo. Como mínimo, y no como un intento de limitar la aplicación de la doctrina de equivalentes al alcance de las reivindicaciones, cada parámetro numérico debería al menos interpretarse a la luz del número de dígitos significativos informados y aplicando técnicas ordinarias de redondeo. Además, se debe entender que todos los intervalos descritos en el presente documento abarcan todos y cada uno de los subintervalos incluidos en el mismo. Por ejemplo, un intervalo de "1 a 10" incluye todos y cada uno de los subintervalos entre (e incluye) el valor mínimo de 1 y el valor máximo de 10 (es decir, todos y cada uno de los subintervalos que tienen un valor mínimo igual o mayor que 1 y un valor máximo igual o inferior a 10, por ejemplo, de 5,5 a 10).

[0095] Si bien la presente invención se ha descrito detalladamente con fines ilustrativos basándose en lo que actualmente se consideran las modalidades más prácticas y preferidas, debe entenderse que dicha descripción detallada es únicamente para ese propósito y que la invención no se limita a las modalidades descritas, pero, por el contrario, está destinada a cubrir modificaciones y disposiciones equivalentes que están dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, debe entenderse que la presente invención contempla que, en la medida de lo posible, una o más características de cualquier modalidad pueden combinarse con una o más características de cualquier otra modalidad.

[0096] Tal como se usa en esta solicitud, la palabra "puede" se usa en un sentido permisivo (es decir, que significa tener el potencial para), en lugar del sentido obligatorio (es decir, que significa debe). Las palabras "comprende", "que comprende", "incluye", "incluido", "incluye" y similares significan incluir, entre otros. Como se usa en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones, las formas singulares de "un", "uno/a" y "el" incluyen referentes plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Así, por ejemplo, la referencia a "un elemento" incluye una combinación de dos o más elementos, sin perjuicio del uso de otros términos y frases para uno o más elementos, como "uno o más".

[0097] Otros aspectos, características y ventajas serán evidentes a través de la descripción detallada de esta divulgación y los dibujos adjuntos a la misma. También debe entenderse que la descripción de esta divulgación son ejemplos y no restrictivos del alcance de la invención. Como se usa en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones, las formas

singulares de "un", "uno/a" y "el/la" incluyen referentes plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Además, como se usa en la memoria descriptiva, "una porción" se refiere a una parte de, o la totalidad (es decir, la porción completa), de un elemento dado (por ejemplo, datos) a menos que el contexto dicte claramente lo contrario.

5 Además, un "conjunto" puede referirse a una forma singular o una forma plural, de modo que un "conjunto de artículos" puede referirse a un artículo o una pluralidad de artículos.

[0098] El término "o" no es exclusivo (es decir, abarca tanto "y" como "o"), a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Los términos que describen relaciones condicionales (p. ej., "en respuesta a X, Y", "sobre X, Y", "si X, Y", "cuando X, Y" y similares)

10 abarcan relaciones causales en las que el antecedente es una condición causal necesaria, el antecedente es una condición causal suficiente, o el antecedente es una condición causal contributiva del consecuente (por ejemplo, "el estado X ocurre al obtener la condición Y" es genérico para "X ocurre únicamente en Y" y "X ocurre en Y y Z"). Tales relaciones condicionales no se limitan a las consecuencias que siguen instantáneamente a la obtención

15 del antecedente, ya que algunas consecuencias pueden retrasarse y, en los enunciados condicionales, los antecedentes están conectados con sus consecuentes (por ejemplo, el antecedente es relevante para la probabilidad de que ocurra el consecuente). Las declaraciones en las que una pluralidad de atributos o funciones se asignan a una pluralidad de objetos (por ejemplo, uno o más procesadores que realizan los pasos/operaciones A, B,

20 C y D) abarcan tanto todos esos atributos o funciones que se asignan a todos esos objetos como subconjuntos de los atributos o funciones que se asignan a subconjuntos de los objetos (por ejemplo, todos los procesadores realizan cada uno de los pasos/operaciones AD, y un caso en donde el procesador 1 realiza el paso/operación A, el procesador 2 realiza el paso/operación B y parte del paso/operación C, y el procesador 3 realiza parte del

25 paso/operación C y del paso/operación D), a menos que se indique lo contrario. Además, a menos que se indique lo contrario, las declaraciones de que un valor o acción está "basado en" otra condición o valor abarcan tanto casos en los que la condición o valor es el único factor como casos en los que la condición o valor es un factor entre una pluralidad de factores.

30 [0099] A menos que el contexto indique claramente lo contrario, las afirmaciones de que "cada" instancia de alguna colección tiene alguna propiedad no deben interpretarse como excluyentes de casos en los que algunos miembros de una colección mayor, por lo demás

idénticos o similares, no tienen la propiedad (es decir, cada uno no significa necesariamente todos y cada uno). Las limitaciones en cuanto a la secuencia de los pasos recitados no deben leerse en las reclamaciones a menos que se especifiquen explícitamente (por ejemplo, con un lenguaje explícito como "después de ejecutar X, ejecutar Y"), a diferencia de las declaraciones que podrían argumentarse indebidamente para implicar limitaciones de secuencia (por ejemplo, "ejecutar X en los artículos, ejecutar Y en los artículos X") utilizadas para hacer que las reclamaciones sean más legibles en lugar de especificar la secuencia. Las declaraciones que se refieren a "al menos Z de A, B y C" y similares (por ejemplo, "al menos Z de A, B o C") se refieren a al menos Z de las categorías enumeradas (A, B y C) y no requieren al menos Z unidades en cada categoría. A menos que el contexto indique claramente lo contrario, se aprecia que a lo largo de esta especificación las discusiones que utilizan términos como "procesamiento", "computación", "cálculo", "determinación" o similares se refieren a acciones o procesos de un aparato específico, como una computadora de propósito especial o un dispositivo de procesamiento/computación electrónico de propósito especial similar.

[0100] La presente tecnología se ilustra, por ejemplo, según diversos aspectos descritos a continuación como modalidades numeradas (1, 2, 3, etc.) por conveniencia. Estos se proporcionan como ejemplos y no limitan la tecnología actual. Cabe señalar que cualquiera de las modalidades dependientes se puede combinar en cualquier combinación y colocarse en una modalidad independiente respectiva.

1. Un producto de coque, que comprende:

un índice de reactividad del coque (CRI) de al menos el 30 %; y

una temperatura de fusión de las cenizas (AFT) no más 1316 °C.

2. Un producto de coque, que comprende:

una ceniza que tiene una composición que satisface la siguiente ecuación:

$$\text{Temperatura de fusión de ceniza (AFT)} = 19 \times (\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}) + 15 \times (\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}} + \text{TiO}_2_{\text{fracción_masa}}) + 10 \times (\text{CaO}_{\text{fracción_masa}} + \text{MgO}_{\text{fracción_masa}}) + 6 \times (\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} + \text{Na}_2\text{O}_{\text{fracción_masa}}),$$

en donde:

la AFT es un valor comprendido entre 1204 °C y 1426 °C;

la $\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de SiO_2 de la ceniza;

la $\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de Al_2O_3 de la ceniza;

la $\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de Fe_2O_3 de la ceniza;

la $\text{CaO}_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de CaO de la ceniza; y

la $\text{MgO}_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de MgO de la ceniza.

3. Un producto de coque, que comprende:

5 una ceniza que tiene una composición que satisface la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Temperatura de fusión de ceniza (AFT)} = & 19 \times (\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}) + 15 \times \\ & (\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}} + \text{TiO}_2_{\text{fracción_masa}}) + 10 \times (\text{CaO}_{\text{fracción_masa}} + \\ & \text{MgO}_{\text{fracción_masa}}) + 6 \times (\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} + \text{Na}_2\text{O}_{\text{fracción_masa}} + \\ & \text{K}_2\text{O}_{\text{fracción_masa}}), \end{aligned}$$

10 en donde:

la AFT es un valor entre 982 °C y 1426 °C;

la $\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de SiO_2 de la ceniza;

la $\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de Al_2O_3 de la ceniza;

la $\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de Fe_2O_3 de la ceniza;

15 la $\text{CaO}_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de CaO de la ceniza;

la $\text{MgO}_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de MgO de la ceniza; y

la $\text{K}_2\text{O}_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de K_2O de la ceniza.

4. Un producto de coque, que comprende:

una ceniza que tiene una composición que satisface la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Temperatura de fusión de ceniza (AFT)} = & 401,5 + 26,3 \times \text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}} + 40,7 \times \\ & \text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} - 11,0 \times \text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} - 7,9 \times \text{CaO}_{\text{fracción_masa}} - 112 \times \\ & \text{MgO}_{\text{fracción_masa}}, \end{aligned}$$

en donde:

la AFT es un valor entre 982 °C y 1204 °C;

25 la $\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de SiO_2 de la ceniza;

la $\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de Al_2O_3 de la ceniza;

la $\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa Fe_2O_3 de la ceniza;

la $\text{CaO}_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de CaO de la ceniza;

la $\text{MgO}_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción de masa de MgO de la ceniza.

30 5. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 4, en donde la AFT es aproximadamente igual a al menos uno de 1204 °C, 1260 °C, 1288 °C, 1316 °C, 1343 °C, 1371 °C, 1399 °C, o 1427 °C.

6. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 5, en donde el producto de coque tiene una temperatura de deformación inicial entre 1149 °C y 1316 °C.
7. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 6, en donde el producto de coque tiene una temperatura de reblandecimiento comprendida entre 1177 °C y 1371 °C.
- 5 8. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 7, en donde el producto de coque tiene una temperatura hemisférica entre 1204 °C y 1371 °C.
9. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 8, en donde el producto de coque tiene una temperatura de fluido entre y 1232 °C y 1427 °C.
10. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 9, en donde una fracción en masa de la ceniza del producto de coque no es superior al 10,0 %.
- 10 11. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 10, en donde una fracción de masa de azufre u óxido de azufre del producto de coque no es superior al 1,0 %.
12. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 11, en donde:
el producto de coque se produce a partir de una mezcla de carbón que comprende cenizas
15 que incluyen Al_2O_3 y SiO_2 ; y
una fracción de masa combinada de Al_2O_3 y SiO_2 de la ceniza no supera el 65 %.
13. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 12, en donde la AFT es de aproximadamente 1204 °C.
14. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 13, en donde:
20 el producto de coque se produce a partir de una mezcla de carbón que comprende cenizas
que incluyen Al_2O_3 y SiO_2 ; y
una fracción de masa combinada de Al_2O_3 y SiO_2 de la ceniza es de entre 65 % y 80 %.
15. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 14, en donde la AFT está entre 1204 °C y 1260 °C.
- 25 16. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 15, en donde:
el producto de coque está fabricado de una mezcla de carbón que comprende ceniza que
incluye CaO ; y
una fracción de masa de CaO de la ceniza es al menos 2,0 %.
17. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 16, en donde el producto
30 de coque tiene un índice de reactividad de coque (CRI) de es al menos 25,0 %.
18. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 17, en donde el producto de coque tiene una resistencia al coque después de la reacción (CSR) que no es mayor que

40,0 %.

19. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 18, en donde el producto de coque tiene una ruptura de caída de 2 pulgadas de al menos 90 %.
20. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 19, en donde el producto de coque tiene una rotura por caída de 4 pulgadas de al menos 80 %.
21. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 20, en donde una fracción en masa de la ceniza del producto de coque es al menos 8,0 %.
22. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 21, en donde una fracción de masa de materia volátil del producto de coque no es más de 1,0 %.
23. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 22, en donde un contenido de carbono fijo del producto de coque es al menos 94,5 %.
24. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 23, en donde un contenido de carbono fijo del producto de coque es al menos 85,0 %.
25. El producto de coque de cualquiera de las modalidades 1 a 24, en donde el producto de coque comprende al menos Na^{+1} , Fe^{2+} , o F^{3+} .