

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 636**

51 Int. Cl.:

F27B 3/18	(2006.01)
F27B 3/28	(2006.01)
F27D 13/00	(2006.01)
F27D 21/02	(2006.01)
F27D 19/00	(2006.01)
B65G 43/08	(2006.01)
C21C 5/56	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2016 PCT/IB2016/057719**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.06.2017 WO17109657**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2016 E 16816754 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 3394541**

54 Título: **Procedimiento y sistema para determinar la masa de materia prima en un transportador**

30 Prioridad:

22.12.2015 WO PCT/IB2015/059871

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.11.2020

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:

**BAUMERT, JEAN-CLAUDE;
THIBAUT, JEAN-CLAUDE y
PICCO, MARCO**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 794 636 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para determinar la masa de materia prima en un transportador

5 Campo de la invención

[0001] La invención generalmente se refiere a un procedimiento y un sistema para cargar un horno metalúrgico, por ejemplo, un horno de arco eléctrico, con chatarra (de acero) y/u otra materia prima, como, por ejemplo, hierro de reducción directa (DRI, del inglés *direct-reduced iron*, también llamado hierro esponjoso) o, posiblemente, arrabio. Más específicamente, la invención se refiere a un sistema y un procedimiento para determinar la cantidad de materia prima que un transportador suministra a un horno metalúrgico.

Antecedentes de la invención

15 [0002] La tecnología de hornos metalúrgicos cargados con materia prima, p. ej., chatarra, de forma continua o discontinua, está bien establecida.

[0003] La patente EP2606305 describe un sistema para controlar y rastrear la carga de material transportado por un transportador de suministro continuo de un horno metalúrgico. El sistema comprende una sección de carga para cargar un peso de material previamente determinado, según una receta de carga predeterminada, en el transportador de suministro continuo. El sistema marca la carga a través de medios de identificación. Se detectan las dimensiones generales de la carga cargada y se calcula la velocidad de avance de la carga cargada. El documento EP2606305 describe que los medios para detectar la velocidad de avance pueden comprender medios para adquirir una pluralidad de imágenes de cargas en tiempos retrasados, donde las imágenes y los tiempos de adquisición relativos se correlacionan y procesan mutuamente. El sistema de EP2606305 determina el peso de cada fracción de carga solo una vez, en la estación de carga respectiva y antes de que la fracción de carga se descargue en el transportador. Finalmente, el sistema determina el tiempo de llegada de la carga al horno.

[0004] A pesar de la descripción anterior, determinar el flujo másico de materia prima que ingresa a un horno metalúrgico con una precisión satisfactoria sigue siendo, en la práctica, un problema a resolver. De hecho, uno de los supuestos subyacentes a los cálculos del sistema de EP2606305 es que cada carga cargada en el transportador permanece unida y progresa como una unidad. En realidad, este no es el caso, especialmente si el transportador es del tipo vibratorio. En este tipo de transportador, el avance de la chatarra es complicado, si no imposible, de modelar. Por ejemplo, se puede observar que distintas partes de la misma carga pueden progresar a distintas velocidades en función de varios factores. Además, después de cada alimentación del horno, la carga puede permanecer en el transportador y se cargará en el horno la próxima vez. Por estas razones, el conocimiento de los pesos de las fracciones de carga inicialmente cargadas en el transportador generalmente no es suficiente para determinar cuánta materia prima se alimenta al horno en un momento arbitrario. El documento US 6 004 504 se refiere a un procedimiento y aparato para el control de la fabricación de acero en un horno de arco eléctrico continuo donde un detector de velocidad de carga mide la velocidad de carga de la carga metálica introducida en el horno. Un detector de masa de carga mide una masa de carga de carga metálica introducida en el horno. Un ordenador determina una velocidad de alimentación basada en la velocidad de carga y la masa de carga.

45 Resumen de la invención

[0005] Un primer aspecto de la presente invención se refiere a un procedimiento para determinar una masa de materia prima descargada por un transportador durante un primer intervalo de tiempo, en lo sucesivo denominado Δt , en un horno metalúrgico, p. ej., un horno de arco eléctrico (fabricación de acero). El procedimiento comprende:

50 tomar sucesivas imágenes digitales de la materia prima en una zona específica del transportador, dos imágenes sucesivas separadas por un segundo intervalo de tiempo, en lo sucesivo denominado δt , que es de menor duración que el primer intervalo de tiempo Δt ($\delta t \leq \Delta t$);

55 ○ para cada uno de los segundos intervalos de tiempo δt

calcular la distancia de avance de un subvolumen de materia prima durante el segundo intervalo de tiempo δt en la zona específica del transportador mediante el procesamiento numérico de las dos imágenes sucesivas asociadas con el segundo intervalo de tiempo δt

60 determinar al menos un perfil de altura transversal del subvolumen de materia prima;

determinar una densidad efectiva de materia prima para el subvolumen de materia prima; y

65 ○ calcular la masa de materia prima descargada por el transportador durante el primer intervalo de tiempo Δt en el horno sobre la base de la distancia de avance, donde el al menos un perfil de altura transversal y la densidad efectiva de materia prima se calcula o determina para cada uno de los segundos intervalos de tiempo δt .

[0006] Como se usa en el presente documento, la expresión «materia prima» designa material sólido para cargarse en el horno. Por ejemplo, en el caso de un horno de arco eléctrico para la producción de acero, la materia prima es material que contiene hierro y abarca, en particular, chatarra (acero) y DRI. Puede valer la pena señalar que
5 EP2606305 se basa en el conocimiento de los pesos inicialmente medidos de las distintas fracciones de carga y permanece en silencio sobre cualquier cálculo posterior de la masa de materia prima.

[0007] Preferentemente, el procedimiento comprende calcular la velocidad de avance del subvolumen de materia prima en el transportador y/o el tiempo de llegada del subvolumen de materia prima en el horno.

[0008] Se apreciará que el procedimiento según el primer aspecto de la invención extrae la distancia de avance de la materia prima (para cada segundo intervalo de tiempo δt) de las imágenes digitales tomadas con la cámara. La masa de materia prima que pasa a través de la zona específica del transportador en un segundo intervalo de tiempo dado permite que el sistema obtenga cuándo llegará esa masa a la entrada del horno y se descargará en él. De este modo, el sistema puede realizar un seguimiento de la carga del horno y también anticipar la carga futura con algún tiempo de anticipación. El horizonte de pronóstico dependerá de la distancia entre la zona específica del transportador, donde se realizan las mediciones, y la entrada al horno, así como de la velocidad de avance de la materia prima. Como la velocidad de avance puede variar, el horizonte de pronóstico también puede variar. Sin embargo, ese tiempo puede usarse para ajustar los parámetros operativos del horno de manera que se optimice su eficiencia (en términos de capacidad y/o consumo de energía y/o costes operativos).
10
15
20

[0009] Como se usa en este documento, un «intervalo de tiempo» es un período que tiene una hora de inicio, una hora de finalización y una duración (la diferencia entre las horas de inicio y finalización). En las expresiones «primer intervalo de tiempo» y «segundo intervalo de tiempo», los números ordinales «primero» y «segundo» solo se utilizan para distinguir ambos tipos de intervalos de tiempo y no implican ninguna jerarquía u orden en el tiempo. De hecho, como se mencionó anteriormente, el procedimiento según el primer aspecto de la invención puede ser uno para predecir la masa de materia prima descargada por un transportador durante un primer intervalo de tiempo futuro.
25

[0010] Puede valer la pena señalar que no es necesario fijar la duración del primer intervalo de tiempo Δt ni del segundo intervalo de tiempo δt , aunque eso puede preferirse por simplicidad. De hecho, ambas duraciones Δt y δt podrían ajustarse dinámicamente.
30

[0011] La duración del segundo intervalo de tiempo podría ser el tiempo entre dos imágenes consecutivas de la cámara o un múltiplo entero de la misma (en cuyo caso las dos imágenes sucesivas mencionadas anteriormente no son vecinas más cercanas en la secuencia de imágenes tomadas por la cámara). La duración del segundo intervalo de tiempo podría cambiarse seleccionando cuántas imágenes se descartan después de cada imagen que se guarda para el procesamiento numérico. Si la velocidad secuencial de la cámara es ajustable, la duración del segundo intervalo de tiempo podría ajustarse mediante la variación de la velocidad de fotogramas.
35

[0012] Preferentemente, calcular la masa de materia prima descargada durante el primer intervalo de tiempo Δt comprende,
40

- para cada segundo intervalo de tiempo δt , calcular la masa de un subvolumen de materia prima en función de la distancia de avance, donde se determina al menos un perfil de altura transversal y la densidad efectiva de la materia prima; y
 - sumar las masas de los subvolúmenes de materia prima que llegan al horno durante el primer intervalo de tiempo Δt .
- 45

[0013] El procedimiento comprende preferentemente un análisis numérico de imágenes digitales tomadas de la materia prima en la zona específica del transportador, p. ej., durante el segundo intervalo de tiempo respectivo δt , para determinar una distribución del tamaño de partícula (granulometría) de la materia prima.
50

[0014] La densidad efectiva de la materia prima en cada subvolumen puede determinarse en función de la distribución del tamaño de partícula de materia prima. La densidad efectiva de la materia prima en el subvolumen puede, p. ej., determinarse sobre la base de la distribución del tamaño de partícula de materia prima determinada por granulometría óptica y utilizando una tabla de consulta donde las densidades efectivas de la materia prima se correlacionan con las distribuciones del tamaño de partícula de materia prima. Como alternativa, el procedimiento podría usar un clasificador entrenado para asignar una densidad efectiva de materia prima a cada subvolumen de materia prima en función de la(s) imagen(es) digital(es) correspondiente(s). Las imágenes digitales tomadas en la zona específica del transportador se usan preferentemente como base para la distribución del tamaño de partícula mediante medición de granulometría óptica.
55
60

[0015] La duración de los segundos intervalos de tiempo δt puede ajustarse dinámicamente en función de la distribución del tamaño de partícula de materia prima. Un problema con la materia prima finamente triturada es que, si el segundo intervalo de tiempo es demasiado largo, la superficie de la materia prima, tal como la ve la cámara,
65

puede cambiar considerablemente. Esto se debe al temblor producido por el mecanismo de transporte vibratorio subyacente. Las partículas de materia prima que se encuentran sobre la pila pueden moverse fácilmente, de manera que cubren otras partículas aún visibles en las imágenes anteriores. En consecuencia, en el caso de una materia prima más fina, puede ser ventajoso reducir la duración de los segundos intervalos de tiempo δt , mientras que, en el caso de una materia prima más grande, la duración de los segundos intervalos de tiempo δt puede aumentarse.

5 **[0016]** Preferentemente, si las imágenes tomadas por la cámara son imágenes en color, el procesamiento numérico para calcular la distancia de avance incluye convertir las imágenes en color en imágenes en escala de grises. Se pueden realizar otras correcciones de imagen, como, p. ej., recortes, ajustes de contraste y/o filtrados, así como parte del procesamiento numérico.

10 **[0017]** El procesamiento numérico para calcular la distancia de avance comprende preferentemente seleccionar una porción de materia prima en una de dos imágenes sucesivas; e identificar la porción correspondiente de materia prima en la otra de las dos imágenes sucesivas. La porción de materia prima que se selecciona está contenida preferentemente en una región delimitada (por ejemplo, una región de interés) de una de las dos imágenes sucesivas. La región de interés que contiene la porción de materia prima seleccionada puede ser rectangular o redonda o de cualquier otra forma adecuada. La región de interés puede tener un tamaño y una posición fijos dentro de la imagen. Alternativamente, la región de interés podría ajustarse dinámicamente en función del contenido de la imagen, es decir, la materia prima que se está fotografiando actualmente. La identificación de la porción seleccionada de materia prima en la otra de las dos imágenes sucesivas puede, p. ej., hacerse por correlación cruzada entre la región de interés en la primera imagen y la segunda imagen. Cuando se ha encontrado la posición de la porción de materia prima en la otra de las dos imágenes sucesivas (por correlación cruzada o de cualquier otra manera adecuada, p. ej., registro de imágenes o detección de características), se conoce la distancia de avance de esa porción de materia prima en unidades de píxeles de cámara. Al escalar correctamente la distancia (en la dirección de desplazamiento) y dividir por el intervalo de tiempo entre las dos imágenes, se calcula fácilmente la velocidad de avance de la materia prima. Otra opción sería seleccionar una o más piezas individuales de materia prima, p. ej., en distintas regiones de una imagen, e identificar estas piezas en la otra imagen. Si se determina que las piezas individuales se movieron a distintas distancias, el promedio de estas distancias podría usarse como la distancia de avance de la materia prima.

20 **[0018]** El escalado de la distancia de avance y/o la velocidad de avance de la materia prima se lleva a cabo preferentemente en base a la distancia entre la cámara y la (porción de) materia prima actualmente considerada para el cálculo de la distancia de avance y/o la velocidad de avance. Esa distancia (en adelante denominada distancia de «línea de visión») puede deducirse del perfil de altura transversal correspondiente a la materia prima fotografiada por la cámara. El factor de escala que convierte la distancia de avance de unidades de píxeles a unidades de longitud dependerá de la distancia de la línea de visión. Se prefiere el escalado dinámico e incluso puede ser necesario para lograr la precisión deseada en la distancia de avance y/o los cálculos de velocidad de avance si las variaciones en los perfiles de altura son significativas en comparación con la distancia de la línea de visión. Sin embargo, si el nivel de altura de la materia prima en el transportador es más o menos constante, un factor de escala promedio puede ser suficiente para determinar el cambio correcto entre las imágenes bajo consideración y, en consecuencia, calcular la distancia o velocidad de avance correcta de la materia prima.

30 **[0019]** Según una realización del procedimiento, la selección de la porción de materia prima en una de las dos imágenes sucesivas comprende determinar ópticamente la distribución del tamaño de partícula de materia prima a través de la imagen; y seleccionar la porción de materia prima en función de la distribución del tamaño de partícula. Preferentemente, el sistema selecciona una porción de materia prima cuya distribución del tamaño de partícula permita una buena correlación cruzada. Por ejemplo, las regiones de imagen que contienen solo piezas pequeñas de materia prima pueden dar lugar a resultados de identificación insatisfactorios en la segunda imagen. Si se implementa la selección dinámica, se pueden preferir regiones con piezas de materia prima algo más grandes. Otro criterio para seleccionar dinámicamente una parte de la materia prima puede ser la posición de la misma en la imagen: no se seleccionará ninguna parte de la materia prima que probablemente no vaya a aparecer en la otra imagen debido a su movimiento. La selección de una porción de materia prima en una de las dos imágenes sucesivas puede comprender, de forma alternativa o adicional, analizar el contenido de una de las imágenes utilizando uno o más criterios distintos de la distribución del tamaño de partícula (por ejemplo, distribución de áreas brillantes y oscuras, presencia de bordes reconocibles, etc.) y luego seleccionar la porción de materia prima en función del resultado de este análisis.

45 **[0020]** El procedimiento según el primer aspecto de la invención es especialmente adecuado en combinación con un transportador de tipo oscilante (o de tipo vibratorio). Este hallazgo es sorprendente, ya que el movimiento de la materia prima en un transportador oscilante no es un movimiento de traslación. De hecho, a medida que la materia prima avanza, hay un movimiento relativo considerable entre las piezas de la materia prima. Como cada pieza de materia prima sigue su propia trayectoria individual, no se puede anticipar que la detección óptica de la distancia de avance (o la velocidad de avance) sea posible con un tiempo de cálculo razonable mientras se producen resultados útiles. Sorprendentemente, sin embargo, este fue el caso cuando se utilizó el reconocimiento de patrones basado en correlación para la detección de la distancia de avance.

60 **[0021]** Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema para determinar una masa de materia prima

descargada por un transportador durante un primer intervalo de tiempo Δt en un horno metalúrgico, p. ej., un horno de arco eléctrico. El sistema comprende

- 5 ○ una o más cámaras configuradas y dispuestas para tomar imágenes sucesivas de la materia prima en una zona específica del transportador, donde dos imágenes sucesivas se separan por un segundo intervalo de tiempo $\delta t \leq \Delta t$;
- al menos un escáner láser o cámara de alcance (por ejemplo, una cámara tridimensional de tiempo de vuelo) para determinar al menos un perfil de altura transversal de un subvolumen de materia prima en la zona específica;
- 10 ○ un sistema de procesamiento de datos configurado para:
 - calcular, para cada segundo intervalo de tiempo δt , la distancia de avance del subvolumen respectivo de materia prima durante el segundo intervalo de tiempo δt mediante el procesamiento numérico de las dos imágenes sucesivas asociadas con el segundo intervalo de tiempo δt y
 - 15 calcular la masa de materia prima descargada por el transportador durante el primer intervalo de tiempo Δt en el horno sobre la base de la distancia de avance, donde el al menos un perfil de altura transversal y la densidad efectiva de materia prima se calcula, determina o fija para cada uno de los segundos intervalos de tiempo δt .

20 **[0022]** El sistema puede comprender al menos un módulo de iluminación para iluminar el campo de visión de una o más cámaras, a fin de permitir tiempos de exposición suficientemente cortos, reducir la relación señal/ruido y mejorar el contraste de las imágenes.

25 **[0023]** Preferentemente, la una o más cámaras se colocan sobre el transportador, a una distancia del transportador seleccionado para garantizar una resolución de imagen suficiente. Por ejemplo, una distancia de una o más cámaras desde el transportador comprendida entre una y tres veces el ancho transversal del transportador puede ser adecuada en caso de que una o más cámaras estén equipadas con una óptica estándar.

30 **[0024]** El sistema se configura preferentemente para llevar a cabo el procedimiento según el primer aspecto de la invención y es particularmente adecuado para la metalurgia, p. ej., hornos de arco eléctrico equipados con una instalación de carga «continua».

35 **[0025]** Un tercer aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para operar un horno metalúrgico (por ejemplo, un horno de arco eléctrico), donde el transportador descarga la materia prima. Un procedimiento según el tercer aspecto de la invención comprende:

- predecir la masa de materia prima descargada en el horno durante un primer intervalo de tiempo Δt usando el procedimiento del primer aspecto de la invención, y
- 40 ○ modificar los parámetros operativos del horno en función de la masa prevista de materia prima; y/o
- modificar flujo de masa de la materia prima descargada en el horno en función de los parámetros de funcionamiento objetivo del horno.

45 **[0026]** El procedimiento de funcionamiento del horno utiliza, por lo tanto, las predicciones para controlar, manual o automáticamente, el funcionamiento del horno y/o corregir el procedimiento de carga (continuo). Preferentemente, ambos tipos de regulación se combinan para operar el horno en un régimen óptimo.

Breve descripción de los dibujos

50 **[0027]** Los dibujos adjuntos ilustran varios aspectos de la presente invención y, junto con la descripción detallada, sirven para explicar los principios de la misma. En los dibujos:

55 La figura 1 es una vista esquemática de un mecanismo de carga de un horno de arco eléctrico para la fabricación de acero;

La figura 2 contiene dos imágenes tomadas en momentos distintos por una cámara, que muestra el movimiento de la materia prima en un transportador;

60 La figura 3 es una vista esquemática en sección transversal de la materia prima compuesta de piezas grandes, en un transportador;

La figura 4 es una vista esquemática en sección transversal de la materia prima compuesta de piezas más pequeñas, en un transportador;

65

La figura 5 es una representación gráfica de los perfiles de altura detectados de la pila de materia prima en el transportador.

Descripción detallada de la realización preferida

- 5
- [0028]** Las figuras 1 a 5 representan aspectos de un sistema simplificado 10 para cargar un horno de arco eléctrico para la fabricación de acero 16. El sistema de carga 10 comprende una estación de carga 12 que deposita materia prima, en particular chatarra, en un transportador 14. El transportador 14 es de tipo oscilante, que es el más adecuado para transportar la materia prima debido a sus propiedades de no obstrucción y limpieza automática.
- 10
- [0029]** Durante el transporte hacia el horno 16 en el transportador 14, la materia prima pasa a través de una estación de caracterización de materia prima 18. La estación de caracterización de materia prima 18 está conectada a un procesador 20. El procesador 20 transmite información sobre la materia prima a un centro de control 22. En base a la información recibida desde la estación de caracterización de materia prima 18, el controlador en el centro de control 22 puede modificar los parámetros operativos del horno de arco eléctrico 16 y/o modular el futuro flujo de masa de materia prima. Ambas medidas sirven para dirigir el horno de arco eléctrico 16 de la manera más eficiente posible.
- 15
- [0030]** La estación de carga de materia prima 12 habitualmente comprende un polipasto de grúa o instalación similar, donde la cantidad de materia prima cargada en el transportador 14 no se controla, o al menos no con precisión. Por lo tanto, la masa de materia prima descargada en el horno de arco eléctrico 16 durante un intervalo de tiempo Δt no puede determinarse en función únicamente de la información de la estación de carga de materia prima 12, si la hay. Además, la forma, el tamaño y la relación de aspecto de las partes de la materia prima pueden cambiar considerablemente con el tiempo.
- 20
- [0031]** La estación de caracterización de materia prima 18 sirve para determinar ópticamente la velocidad de avance y la distribución de la masa de la materia prima en la dirección longitudinal del transportador 14. La estación de caracterización de materia prima 18 está situada entre la estación de carga 12 y el horno de arco eléctrico 16 y tiene como componentes principales una cámara digital 24 y un escáner láser 26 fijados sobre el transportador 14, a una distancia del transportador 14 preferentemente comprendida entre una y tres veces el ancho transversal del transportador 14. Para un transportador 14 con un ancho transversal de 2 m, la cámara 24 y el escáner láser 26 pueden, p. ej., fijarse entre 2 y 6 m por encima del transportador 14.
- 25
- [0032]** La cámara digital 24 toma imágenes digitales de la materia prima a una velocidad secuencial comprendida preferentemente en el intervalo entre 1 Hz y 30 Hz al pasar por la estación de caracterización de materia prima 18. El campo de visión 28 de la cámara 24 cubre todo el ancho del transportador 14 y una sección del transportador 14 en la dirección longitudinal del mismo. Como ejemplo, la zona cubierta por la cámara 24 podría tener un tamaño de transportador 14 de 2 metros por 2 metros. La estación de caracterización de materia prima 18 comprende además un módulo de iluminación 30, que comprende, por ejemplo, LED, para iluminar el campo de visión 28 de la cámara 24.
- 30
- [0033]** No existen requisitos específicos con respecto al tipo de cámara 24, excepto que es preferentemente una cámara resistente configurada para soportar las condiciones ambientales a las que esté expuesta.
- 35
- [0034]** Las imágenes tomadas por la cámara 24 se procesan para extraer la velocidad de avance de la materia prima, la distribución del tamaño de partícula y la densidad efectiva de la materia prima.
- 40
- [0035]** La extracción de la velocidad de avance se basa en la técnica llamada «registro de imagen». Se seleccionan dos imágenes 32-34 en la secuencia de imágenes entregada por la cámara 24. Las imágenes 32-34 pueden ser imágenes directamente sucesivas, pero eso no es necesariamente preferido, especialmente si la cámara 24 tiene una velocidad secuencial alta. El intervalo de tiempo δt entre estas imágenes 32-34 se elige suficientemente pequeño, de modo que al menos parte de la materia prima esté presente en ambas imágenes 32-34, aunque en ubicaciones distintas. En una de las imágenes 32, se elige una denominada «plantilla» 36 (subimagen o región de interés) que contiene una parte de la materia prima, y el procesador 20 intenta encontrar la misma parte de la materia prima 38 en la segunda imagen 34. En la segunda imagen 34, la porción de materia prima se ha movido una cierta distancia 40 con respecto a la primera imagen 32. La identificación de la porción de materia prima en la segunda imagen 34 se realiza correlacionando en 2D la plantilla 36 con la segunda imagen. La identificación se considera lograda en el área donde la función de correlación cruzada alcanza su máximo. La distancia, en píxeles, entre la plantilla 36 y el área en la segunda imagen 38 corresponde a la distancia de avance 40 de la materia prima en el intervalo de tiempo δt . La conversión de la distancia de avance 40 en píxeles a la distancia de avance real 40 (p. ej., en unidades métricas) se lleva a cabo en base a una calibración previamente realizada de la cámara 24. Al dividir la distancia de avance 40 por el intervalo de tiempo entre las dos imágenes 32-34, se obtiene la velocidad del movimiento de traslación.
- 45
- [0036]** El procesador 20 está configurado preferentemente para extraer la velocidad de avance de forma completamente automática. El algoritmo puede comprender algo de preprocesamiento de imagen, en particular para tratar los aspectos altamente variables de la materia prima: tipo (chatarra o DRI), tamaño, forma, color (limpio a
- 50
- 55
- 60
- 65

completamente oxidado).

[0037] Una primera etapa de preprocesamiento puede comprender recortar las imágenes para eliminar las áreas de borde sin información útil.

5

[0038] En caso de que la cámara 24 tome imágenes en color, se puede llevar a cabo una etapa de preprocesamiento que comprende la conversión de las imágenes en color en imágenes en escala de grises. Esta etapa no reduce, o al menos no reduce considerablemente, la cantidad de información presente en la imagen, pero reduce considerablemente los costes informáticos de las correlaciones cruzadas.

10

[0039] Un alto contraste de las imágenes es útil para detectar una correlación cruzada máxima más consistentemente. Para este propósito, el procesador 20 aplica una rutina de ecualización de histograma adaptativo para aumentar el contraste de la imagen.

15 **[0040]**

Para cada imagen, la granulometría (distribución del tamaño de partícula) de las partes de la materia prima se puede obtener utilizando la técnica llamada «apertura de imagen morfológica». Esta técnica corresponde a pasar una máscara sobre la imagen que consiste en un elemento estructurante (un disco circular de apertura de diámetro variable (en píxeles), o de otra forma) y contar el número de píxeles relacionados con los contornos de las piezas de materia prima obtenidas en imágenes, que pasan a través de este elemento estructurante de tamaño variable. Esta técnica también se puede denominar «tamizado óptico». La información sobre la granulometría de la materia prima puede ser utilizada por el procesador 20 para ajustar dinámicamente el tamaño (y posiblemente la forma) de la plantilla 36 a rastrear. Por lo general, las piezas de materia prima más grandes requieren una plantilla más grande que las más pequeñas para una buena detección de desplazamiento. Además, estos datos de granulometría se pueden utilizar para proporcionar a la información del operador del horno una información más «objetiva» sobre qué tipo o grado de materia prima se transporta actualmente en el transportador.

25

[0041] Se podrían utilizar otras técnicas de granulometría óptica. Sin embargo, la técnica de "apertura de imagen" es particularmente adecuada ya que la correlación cruzada se lleva a cabo preferentemente en imágenes obtenidas mediante el filtrado obtenido según la técnica de «apertura de imagen morfológica». Estas imágenes filtradas contienen solo características que tengan un diámetro (mayor extensión) dentro de un cierto intervalo.

30

[0042] El escáner láser 26 está configurado y dispuesto para escanear 42 la materia prima en un plano perpendicular (transversal) al movimiento de la materia prima. El escaneo 42 proporciona al menos un perfil de altura 44 del subvolumen de materia prima que pasa a través de la estación de caracterización de materia prima 18. Los perfiles de altura 44 que se registran sucesivamente pueden combinarse para producir una representación tridimensional de la superficie de la materia prima del subvolumen. En la figura 5 se proporciona un ejemplo de tal representación tridimensional de un subvolumen del transportador de materia prima 14. En lugar de un escáner láser lineal (que graba partes individuales de una escena), la estación de caracterización de materia prima 18 podría comprender alternativamente un escáner láser tridimensional o una cámara tridimensional de tiempo de vuelo.

35

[0043] En base a la distribución del tamaño de partícula determinada ópticamente, el procesador 20 determina la densidad efectiva de la materia prima. Usando esa información en combinación con los perfiles de altura 44, se pueden calcular las masas de los subvolúmenes de materia prima.

45 **[0044]**

La determinación de la masa de un subvolumen de la materia prima requiere el conocimiento del volumen aparente V_{ap} del subvolumen de la materia prima y la densidad efectiva ρ_{ef} de la misma. En general, la relación entre el volumen aparente, la densidad efectiva, el volumen grueso V y la densidad aparente ρ se puede escribir como $\rho V = \rho_{ef} V_{ap}$. El volumen aparente V_{ap} se conoce a través del al menos un perfil de altura 44 medido por el escáner láser 26. En aras de la claridad, en la figura 3 y 4 se representan dos ejemplos en los que la distribución de los tamaños de partícula de la materia prima tiene un tamaño medio de partículas alto, respectivamente uno bajo, mientras que el volumen aparente V_{ap} de ambas partes de la materia prima es aproximadamente el mismo. El procesador 20 determina la densidad efectiva ρ_{ef} del subvolumen de la materia prima utilizando una tabla de consulta donde las densidades efectivas de la materia prima se correlacionan con las distribuciones del tamaño de partícula de materia prima. En la etapa final, para determinar la masa de un subvolumen de la materia prima, el procesador 20 multiplica la densidad efectiva ρ_{ef} por el volumen aparente V_{ap} .

50

[0045] Si bien una realización específica se ha descrito en este documento en detalle, los expertos en la materia apreciarán que se podrían desarrollar diversas modificaciones y alternativas a esos detalles a la luz de las enseñanzas generales de la divulgación. Por consiguiente, las disposiciones particulares descritas están destinadas a ser solo ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance de la invención, a la que se debe dar la amplitud completa de las reivindicaciones adjuntas y cualquiera y todos sus equivalentes.

60

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para determinar una masa de materia prima descargada por un transportador (14) durante un primer intervalo de tiempo Δt en un horno metalúrgico (16), donde dicho procedimiento comprende:
 - 5 tomar imágenes digitales de la materia prima en una zona específica de dicho transportador (14), donde dos imágenes sucesivas están separadas por un segundo intervalo de tiempo $\delta t \leq \Delta t$; para cada uno de dichos segundos intervalos de tiempo δt
 - 10 calcular la distancia de avance (40) de un subvolumen de materia prima durante dicho segundo intervalo de tiempo δt en dicha zona específica de dicho transportador (14) mediante procesamiento numérico de las dos imágenes sucesivas (32, 34) asociadas con dicho segundo intervalo de tiempo δt , por lo que se determina al menos un perfil de altura transversal (44) de dicho subvolumen de materia prima; determinar una densidad efectiva de materia prima para dicho subvolumen de materia prima; y
 - 15 calcular dicha masa de materia prima descargada por dicho transportador (14) durante el primer intervalo de tiempo Δt en el horno (16) sobre la base de dicha distancia de avance (40), donde dichos al menos un perfil de altura transversal (44) y dicha densidad efectiva de materia prima se calcula o determina para cada uno de dichos segundos intervalos de tiempo δt .
- 20 2. El procedimiento según la reivindicación 1, donde calcular dicha masa de materia prima descargada por dicho transportador (14) durante el primer intervalo de tiempo Δt comprende:
 - 25 para cada segundo intervalo de tiempo δt , calcular la masa del subvolumen de materia prima en base a dicha distancia de avance (40), donde se determinan dicho al menos un perfil de altura transversal (44) y dicha densidad efectiva de materia prima; y sumar las masas de subvolúmenes de materia prima que llegan al horno (16) durante el primer intervalo de tiempo Δt .
3. El procedimiento según la reivindicación 1 o 2, que comprende además un análisis numérico de una imagen digital (32, 34) tomada de la materia prima en dicha zona específica de dicho transportador (14) para
 - 30 determinar una distribución del tamaño de partícula de materia prima.
4. El procedimiento según la reivindicación 3, donde dicha densidad efectiva de materia prima en dicho subvolumen se determina en base a dicha distribución de tamaño de partícula de materia prima.
- 35 5. El procedimiento según la reivindicación 4, donde dicha densidad efectiva de materia prima en dicho subvolumen se determina en base a dicha distribución de tamaño de partícula de materia prima y usando una tabla de consulta donde las densidades efectivas de materia prima se correlacionan con las distribuciones de tamaño de partícula de materia prima.
- 40 6. El procedimiento según la reivindicación 3 o 4, donde la duración de dichos segundos intervalos de tiempo δt se ajusta dinámicamente en base a dicha distribución de tamaño de partícula de materia prima.
7. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde dicho procesamiento numérico para calcular la distancia de avance (40) comprende:
 - 45 seleccionar una porción de materia prima en una de dos imágenes sucesivas (32, 34); e identificar la porción correspondiente de materia prima en la otra de dichas dos imágenes sucesivas (32, 34).
8. El procedimiento según la reivindicación 7, donde seleccionar una porción de materia prima en una de
 - 50 dos imágenes sucesivas (32, 34) comprende determinar una distribución del tamaño de partícula de materia prima en dicha imagen; y seleccionar dicha porción de materia prima en base a dicha distribución de tamaño de partícula.
9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, donde se calcula una velocidad de avance de dicho subvolumen de materia prima en dicho transportador (14).
- 55 10. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que comprende escalar la distancia de avance (40) y/o la velocidad de avance de la materia prima en función de la distancia entre la cámara (24) y la materia prima que se está considerando actualmente en el cálculo de la distancia de avance y/o la velocidad de avance.
- 60 11. El procedimiento según la reivindicación 10, donde dicha escala se lleva a cabo dinámicamente en función de los perfiles de altura transversal (44).
12. Un sistema para determinar una masa de materia prima descargada por un transportador (14) durante
 - 65 un primer intervalo de tiempo Δt en un horno metalúrgico (16), donde dicho sistema comprende:

- al menos una cámara (24) capaz de tomar imágenes sucesivas (32, 34) de la materia prima en una zona específica de dicho transportador (14), donde dos imágenes sucesivas (32, 34) están separadas por un segundo intervalo de tiempo $\delta t \leq \Delta t$;
- 5 al menos un escáner láser o cámara de alcance (26) para determinar al menos un perfil de altura transversal (44) de un subvolumen de materia prima en dicha zona específica;
un sistema de procesamiento de datos (22) diseñado para:
- 10 calcular, para cada segundo intervalo de tiempo δt , la distancia de avance (40) del respectivo subvolumen de materia prima durante dicho segundo intervalo de tiempo δt mediante tratamiento numérico de las dos imágenes sucesivas (32, 34) asociadas con dicho segundo intervalo de tiempo δt y
calcular dicha masa de materia prima descargada por dicho transportador (14) durante dicho primer intervalo de tiempo Δt en el horno (16) en función de dicha distancia de avance (40), donde dicho al menos un perfil de altura transversal (44) y dicha densidad efectiva de materia prima se calcula, determina o fija para cada uno de
- 15 dichos segundos intervalos de tiempo δt .
13. El sistema según la reivindicación 12, que comprende al menos un módulo de iluminación (30) para iluminar un campo de visión (28) de dicha al menos una cámara (24), para reducir la relación señal/ruido y mejorar el contraste de dichas imágenes.
- 20 14. El sistema según la reivindicación 12 o 13, donde dicha al menos una cámara (24) se coloca encima de dicho transportador (14) a una distancia comprendida entre una y tres veces el ancho transversal del transportador (14).
- 25 15. Un procedimiento para operar un horno metalúrgico (16), donde la materia prima se descarga por el transportador (14), donde dicho procedimiento comprende:
- 30 predecir la masa de materia prima descargada en el horno (16) durante un primer intervalo de tiempo Δt según el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11,
modificar los parámetros operativos de dicho horno (16) en función de la masa de materia prima descargada en dicho horno (16) durante dicho primer intervalo de tiempo Δt ; y/o
modificar el flujo másico de materia prima descargada en dicho horno (16) en base a los parámetros operativos objetivo de dicho horno (16).

Fig. 1

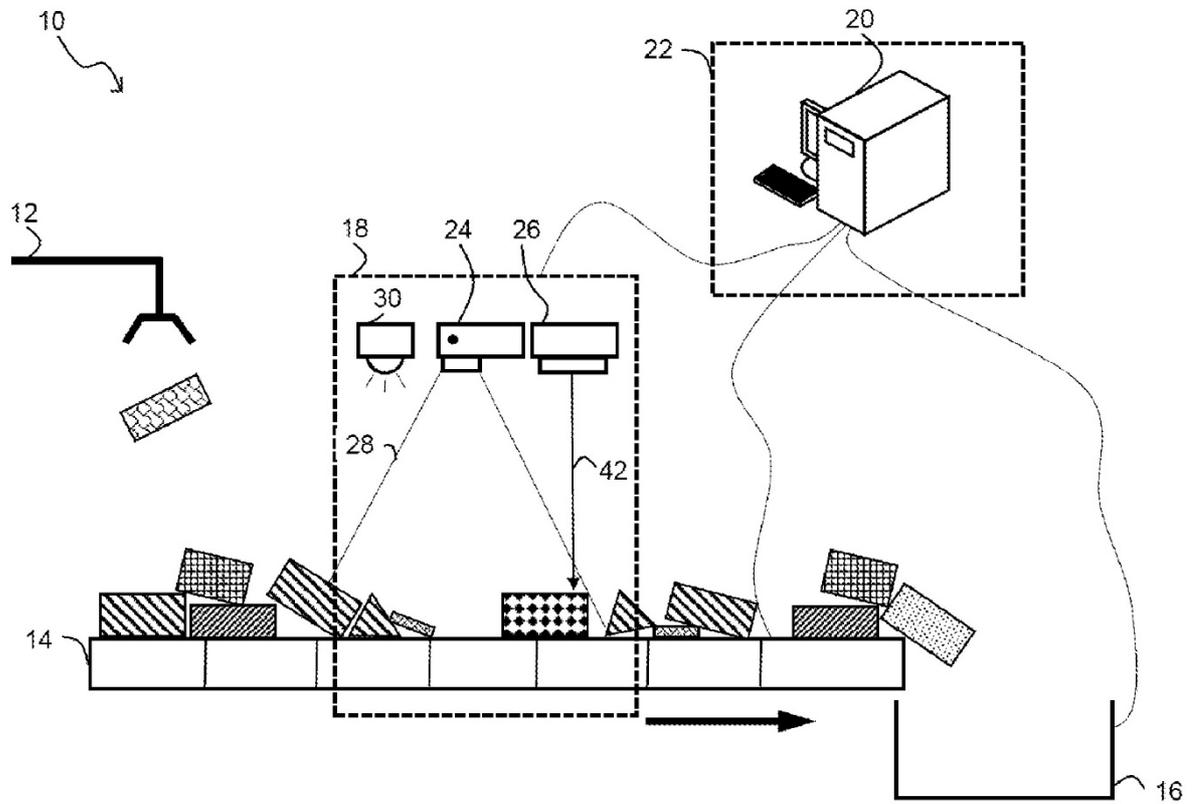


Fig. 2

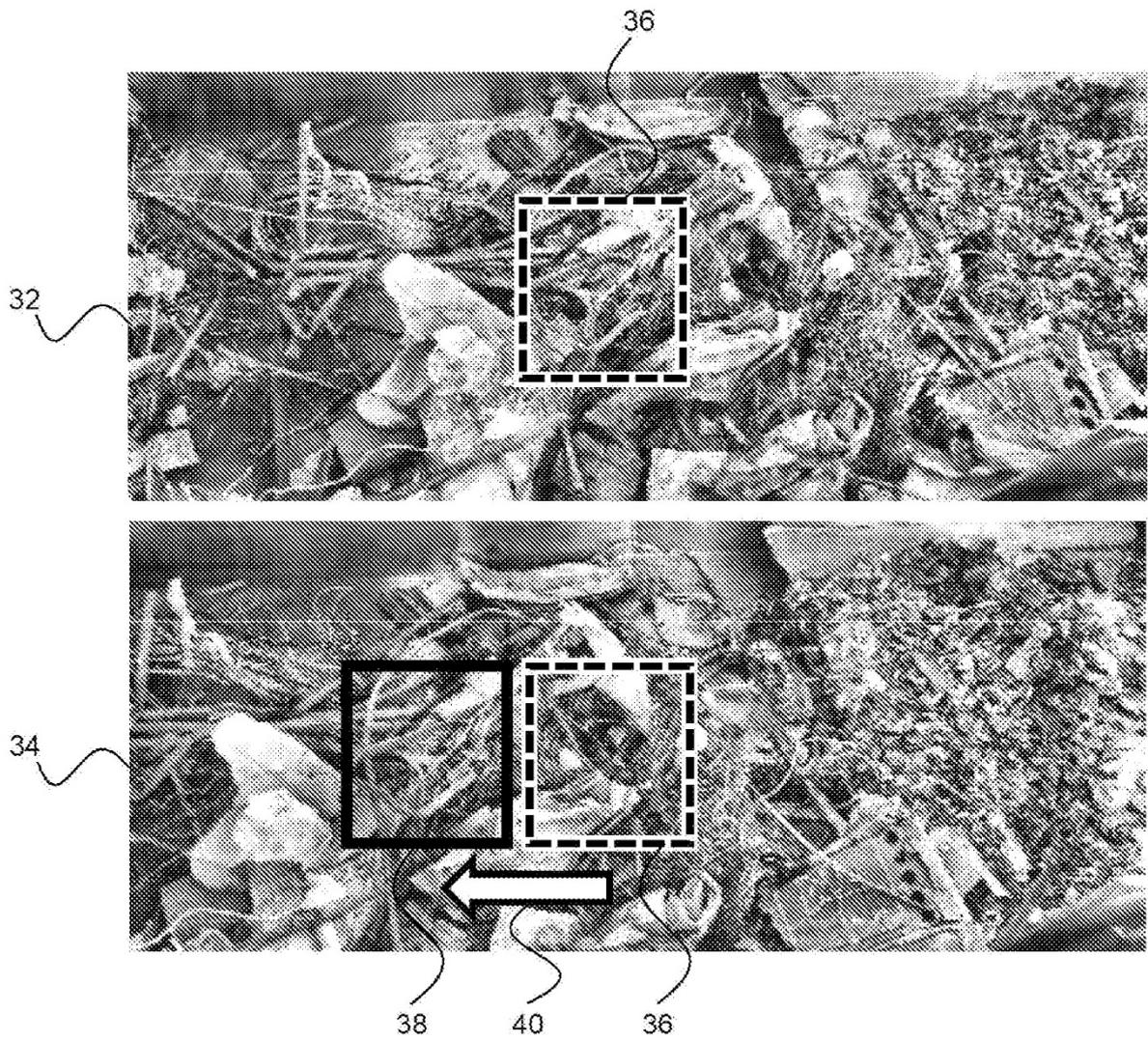


Fig. 3

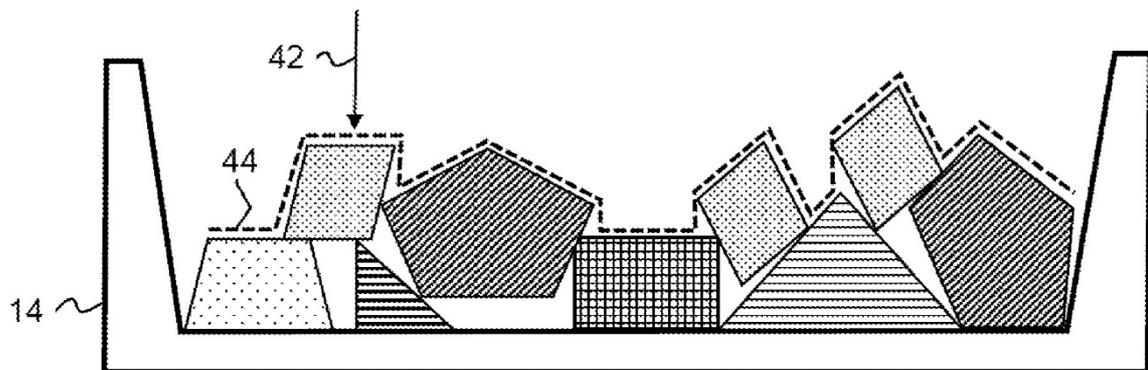


Fig. 4

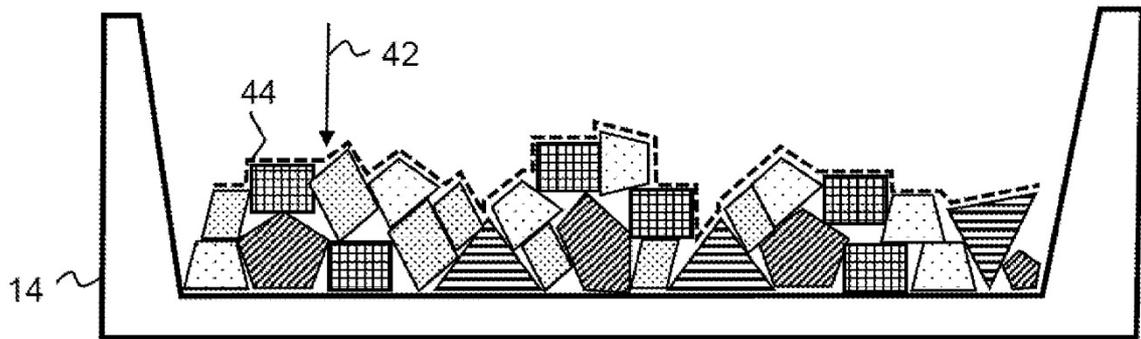


Fig. 5

