

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 984 963**

51 Int. Cl.:

G01B 21/08	(2006.01)
B29C 49/78	(2006.01)
G01B 11/06	(2006.01)
G01N 21/90	(2006.01)
G01N 25/72	(2006.01)
G01N 33/38	(2006.01)
G01J 5/00	(2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2020 PCT/FR2020/051257**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2021 WO21009456**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2020 E 20753397 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2024 EP 3997416**

54 Título: **Instalación y procedimiento para medir el espesor de las paredes de recipientes de vidrio**

30 Prioridad:

12.07.2019 FR 1907877

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.10.2024

73 Titular/es:

**TIAMA (100.0%)
215 Chemin du Grand Revoyet
69230 Saint-Genis-Laval, FR**

72 Inventor/es:

**LECONTE, MARC y
SOLANE, PIERRE-YVES**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 984 963 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

Instalación y procedimiento para medir el espesor de las paredes de recipientes de vidrio

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere al campo técnico de la inspección óptica de recipientes u objetos huecos translúcidos o transparentes que presentan una alta temperatura.

10 La invención tiene por objeto más concretamente la inspección óptica a alta cadencia de objetos tales como botellas o frascos de vidrio que aún están calientes al salir de una máquina de fabricación o de conformado. De este modo, la invención tiene como objeto la inspección de objetos en el sector caliente de un centro de fabricación.

15 De manera convencional, después de fundir el vidrio en un horno a unos 1600°, el vidrio fundido se lleva encima de las máquinas de conformado a través de los canales denominados "antecrisol". La instalación incluye igualmente un distribuidor de parisones de vidrio fundido o gotas de vidrio maleable que caen por gravedad en cada molde de desbaste. De esta forma, este órgano forma gotas de vidrio que se distribuyen hacia varios tramos independientes de conformado a través de un conjunto de guías llamadas suministros. Una máquina de conformado denominada máquina IS está formada por diferentes tramos, cada uno equipado con al menos una cavidad de desbaste equipada con un molde de desbaste y el mismo número de cavidades de acabado, recibiendo cada una un molde de acabado en el que los recipientes adoptan su forma final a alta temperatura. Las 1, 2, 3 o 4 cavidades de desbaste de un tramo se cargan a su vez según un orden predefinido, en una, dos, tres o cuatro gotas de vidrio caliente (aproximadamente 200 °C) llamadas "gotas". En la salida de la máquina de conformado, los recipientes que todavía están a alta temperatura, generalmente entre 300 °C y 600 °C, se recogen a la altura de su anillo y se trasladan de manera que formen una fila sobre una cinta transportadora. El espacio entre los recipientes es variable y está impuesto por la máquina de conformado según su propia distancia entre ejes y los diámetros de los recipientes. La cinta transportadora hace que los recipientes se muevan sucesivamente por diferentes estaciones de procesamiento, tales como una campana pulverizadora de procesamiento superficial y un horno de recocido denominado arco de recocido.

30 Parece interesante identificar lo antes posible un defecto de conformado en la salida de la máquina de conformado antes de las diferentes estaciones de procesamiento para poder corregirlo lo antes posible a la altura de la máquina de conformado. Por lo tanto, es ventajoso detectar, concretamente, las diferencias dimensionales o las deformaciones de los recipientes que están directamente unidas a los ajustes del procedimiento de conformado, para que, en caso de desviación, se pueda corregir el procedimiento lo más rápidamente posible.

35 El control de la calidad de dichos recipientes permite eliminar aquellos que presentan defectos susceptibles de afectar a su carácter estético o lo que es más grave, constituir un peligro real para los usuarios posteriores. De este modo, parece necesario controlar la calidad de la distribución de los espesores de dichos recipientes para eliminar los recipientes que presentan espesores demasiado débiles o diferencias de espesor en determinadas zonas susceptibles de afectar a la resistencia mecánica.

40 De hecho, la calidad de la distribución del espesor es un parámetro muy importante porque el espesor puede ser variable, demasiado fuerte o demasiado débil en diferentes partes del recipiente. Esta disparidad de espesor plantea un problema porque los artículos producidos son potencialmente frágiles. Además, los fabricantes buscan la posibilidad de fabricar recipientes de vidrio más ligeros y finos, por tanto, es necesario saber distribuir el vidrio correctamente. Los parámetros de fabricación que influyen en la distribución del vidrio son conocidos y numerosos, es necesario dominarlos. Se trata, concretamente, citados a modo de ejemplos conocidos, de los siguientes parámetros: i) los parámetros de carga que comprenden el vector de velocidad y el centrado de la gota cuando cae dentro del molde de desbaste; ii) la distribución del calor en la gota; 50 iii) el enfriamiento de los moldes.

Para actuar correctamente sobre los parámetros de fabricación, es necesario conocer la distribución del vidrio de los recipientes inmediatamente después de su conformado.

55 Debe entenderse que conocer la distribución del espesor significa conocer de manera absoluta los espesores en diferentes puntos del recipiente o, en su defecto, de manera relativa las diferencias de espesor entre diferentes regiones del recipiente. Una botella, por ejemplo, se compone, de abajo a arriba, de una base, un cuerpo unido a la base por el talón, luego un cuello, unido al cuerpo por un hombro y, por último, un anillo destinado a llenar y cerrar mediante un corcho, una cápsula o una tapa. Se puede observar un defecto en la distribución de vidrio, por ejemplo, verticalmente, con un exceso de vidrio en la base y una escasez en el hombro. También se pueden observar defectos de distribución horizontal, por ejemplo, a la altura del hombro, más vidrio en un lado que en el opuesto en relación con el eje. Este análisis no solamente de los valores mínimos y máximos de espesor de vidrio, sino también la distribución y las diferencias verticales u horizontales, así como la ubicación de áreas delgadas o gruesas, es importante para 65 corregir correctamente el procedimiento.

Técnica anterior

En el estado de la técnica, se han propuesto diversas soluciones que utilizan la radiación infrarroja emitida por los recipientes aún calientes para su inspección en la salida de la máquina de conformado con el fin de medir la distribución del vidrio.

Por ejemplo, la patente US 3 535 522 describe un procedimiento para medir el espesor de vidrio de un recipiente que consiste en medir la radiación infrarroja emitida por dicho recipiente en la salida de la máquina de conformado. La medición de la radiación infrarroja se realiza mientras el recipiente se coloca en un horno para homogeneizar la temperatura del recipiente a un valor determinado. A continuación, el recipiente aún dentro del horno gira alrededor de un eje vertical, delante del eje óptico de un sensor de infrarrojos que mide la radiación que atraviesa la pared durante una revolución, entre 2,06 y 2,5 micras o entre 3,56 y 4,06 micras. La temperatura debe ser homogénea gracias al horno, las variaciones de la radiación percibida son directamente atribuibles a variaciones de espesor. Esta técnica no permite un control continuo de los recipientes y necesita una manipulación de los recipientes, lo que conduce a un procedimiento lento y susceptible de provocar deformaciones en los envases.

La patente EP 0 643 297 describe un dispositivo que permite efectuar un análisis y un diagnóstico de un procedimiento de fabricación de productos de vidrio que incluyen un sensor sensible a la radiación infrarroja emitida por los objetos que salen de la máquina de conformado. Este sistema también incluye un dispositivo de procesamiento digital que compara la radiación con un modelo de referencia matemático para determinar las diferencias existentes en la distribución del vidrio y/o las causas que conducen a la presencia de restricciones térmicas en el recipiente. Además, esta patente no proporciona ninguna indicación sobre los medios para obtener un modelo matemático de referencia.

Hay que tener en cuenta que un dispositivo de medición por infrarrojos de este tipo se instala, por tanto, para observar los recipientes que se mueven por la cinta de salida aguas abajo (en el sentido del movimiento) de la máquina de fabricación, es decir, aguas abajo del último tramo que se encuentra más cerca del dispositivo. Por tanto, en el otro extremo de la máquina se encuentra el tramo más aguas arriba. La radiación emitida por los recipientes depende de numerosos parámetros, como la distribución del material y también la distribución de la temperatura. Durante la transferencia de recipientes entre el tramo y el dispositivo de medición de infrarrojos, las transferencias de temperatura se producen por radiación y conducción entre las diferentes porciones del recipiente, yendo en el sentido del equilibrio térmico, lo que puede denominarse "homogeneización espontánea" de la temperatura y enfriamiento global por radiación y convección, denominado "enfriamiento". El estado térmico de los recipientes, por tanto, la distribución de la temperatura en el material del recipiente cuando salen de los moldes se denomina de ahora en adelante "condiciones iniciales". El estado térmico de los recipientes en el momento de su inspección depende, por tanto, por una parte, de dichas condiciones iniciales y, por otra parte, de la homogeneización espontánea y del enfriamiento durante el transporte, los cuales obviamente son diferentes en función de la distancia recorrida por el recipiente desde su tramo de conformado hasta la estación de inspección.

En la práctica, según esta patente anterior, se detectan variaciones de radiación debidas a las diferencias de restricciones térmicas o de espesor, pero es imposible determinar un valor de restricción o del espesor, e incluso determinar si una variación de la radiación está relacionada con una diferencia en las restricciones térmicas o del espesor del material. Por tanto, en la práctica parece imposible implementar una técnica de este tipo en la medida en que la medición de la radiación infrarroja dependa de numerosos parámetros, tales como los que se enumeran a modo de ejemplo no limitativo a continuación:

La intensidad de la radiación infrarroja emitida por los recipientes calientes depende en gran medida de la temperatura que sigue la ley de Stefan BOLTZMAN: $E = st^4$ donde E = Cantidad total de radiación emitida por un objeto en (vatios m^{-2}), s = constante de Stefan BOLTZMAN = $5,67 \times 10^{-8}$ Watts $m^{-2}K^{-4}$ y T = la temperatura en grados Kelvin (K).

La intensidad de la radiación infrarroja emitida por los recipientes calientes depende de las características de estos recipientes calientes, tales como, por ejemplo, el tamaño, el color, la forma y composición del vidrio.

Hay que considerar que la distancia entre el sensor de infrarrojos y la salida de los moldes es diferente de un molde a otro de tal manera que el tiempo de enfriamiento para cada recipiente caliente es diferente, de tal manera que los recipientes calientes presentan diferentes temperaturas cuando pasan por delante del sensor de infrarrojos. En otras palabras, la intensidad de la radiación infrarroja medida por el sensor depende del origen del molde de fabricación y, más precisamente, de la posición de este molde con respecto al sensor.

En la salida de la máquina de conformado, los recipientes se colocan deslizándose sobre una cinta. Esto da lugar a una diferencia en el posicionamiento de los recipientes en la cinta con respecto al sensor de medición por infrarrojos, lo que puede modificar las mediciones tomadas.

Las condiciones de temperatura de conformado así como las interacciones durante el transporte de los recipientes pueden variar en función de las condiciones de producción (puesta en marcha, incidente...) y de medio ambiente (día/noche, clima, corriente de aire...).

Dado que la radiación utilizada según el documento EP 0 643 297 es pasante, la radiación percibida es la de las dos paredes combinadas.

5 De lo anterior se deduce que numerosos parámetros influyen en la radiación infrarroja, por lo que dicha patente no aporta una solución para medir la distribución del espesor de vidrio para recipientes de alta temperatura. Esta patente simplemente enseña a detectar diferencias en la distribución del vidrio, siempre que un operador verifique que las diferencias de radiación se deben al espesor. Solamente se estiman valores relativos de espesores o restricciones térmicas entre diferentes regiones de los recipientes o entre diferentes recipientes y durante cortos períodos de tiempo. Esta patente no permite medir en valor absoluto el espesor de vidrio de los recipientes independientemente de cuándo se tomen las mediciones.

10 Según una variante de realización, esta patente prevé la implementación de un sensor óptico que permite producir imágenes de los productos de vidrio para obtener información sobre las desviaciones y/o la distribución del vidrio. La información se compara con los datos obtenidos a partir del sensor sensible a la radiación infrarroja para poder ajustar los criterios según los cuales se analizaron los datos proporcionados por el sensor sensible a la radiación infrarroja. Aunque la implementación de esta variante de realización aporta una corrección de los criterios utilizados, no permite remediar los inconvenientes inherentes al método descrito en esta patente y recordado anteriormente. También, esta solución no permite medir el espesor del vidrio, ni en valor relativo ni en valor absoluto y, en consecuencia, la distribución del espesor en una zona amplia y menos aún en todo el recipiente.

15 La patente EP 1 020 703 propone medir el espesor del vidrio de un recipiente a partir de la radiación infrarroja que consiste en medir una primera intensidad de dicha radiación en una primera banda espectral en la que la radiación es emitida por el material entre las dos superficies externa e interna del recipiente. La primera banda espectral cuya señal depende tanto de la temperatura del vidrio como del espesor es preferentemente de entre 0,4 y 1,1 micras. El procedimiento consiste igualmente en medir una segunda intensidad de dicha radiación en una segunda banda espectral en la que la radiación es emitida sustancialmente en su totalidad por una sola superficie externa del recipiente. Según esta patente, la segunda banda espectral en la que la radiación depende solamente de la temperatura que corresponde a la radiación superficial es preferentemente de entre 4,8 y 5 micrómetros. El procedimiento consiste en determinar el espesor del recipiente entre la superficie externa e interna como una función combinada de dicha primera y segunda intensidad medida. En otras palabras, el espesor y la temperatura se determinan a partir de las dos mediciones de radiación tomadas en la primera banda espectral y en la segunda banda espectral.

20 Según una variante de realización ilustrada en la Figura 3, esta patente propone distribuir regularmente sobre la circunferencia del recipiente cuatro cámaras que miden la radiación en la segunda banda espectral en la que la radiación depende solamente de la temperatura, y un pirómetro que mide la radiación en la primera banda espectral cuya señal depende tanto de la temperatura del vidrio como del espesor.

25 Por tanto, parece que el cálculo exacto del espesor solamente es posible para un punto medido por el pirómetro y la cámara. Esto da como resultado una relación establecida para conocer el espesor en función de la temperatura. Los demás puntos medidos por las otras cámaras solamente se estiman por extrapolación suponiendo que el espesor depende de la temperatura según un modelo matemático local establecido en un lugar del recipiente. La hipótesis de que el espesor se determina por una medición de temperatura es falsa, excepto si los recipientes tienen una temperatura homogénea durante el conformado, dicho de otra manera, excepto si las condiciones iniciales de temperatura son las mismas para toda la botella.

30 De manera complementaria, cabe señalar que en la primera banda espectral, la radiación del recipiente con respecto al punto de medición del pirómetro comprende la radiación de la denominada pared delantera situada en el lado del punto de medición y dependiendo de su espesor y su temperatura, pero igualmente la radiación de la denominada pared trasera opuesta que emite hacia el interior del recipiente y que atraviesa la pared frontal. Esta "radiación trasera" se combina con la "radiación delantera" de la superficie observada directamente. La "pared delantera" solamente absorbe parcialmente esta radiación en la primera banda espectral. De este modo, la radiación percibida depende del espesor de las dos paredes y de la temperatura de las dos paredes. Dicho de otra manera, medir la radiación de la pared delantera no permite medir su espesor porque la radiación está influenciada por la pared trasera.

35 Por último, resulta que el procedimiento descrito por esta patente es adecuado para medir el espesor del vidrio de un recipiente de una familia de tonos limitados. Sin embargo, parece necesario poder medir el espesor de los recipientes de vidrio en el mayor número posible de tonos.

60 **Exposición de la invención**

La invención tiene por objeto, por tanto, remediar los inconvenientes de las técnicas anteriores proponiendo un nuevo procedimiento para medir con precisión el espesor de la pared de los recipientes de vidrio de alta temperatura que salen de las cavidades de conformado, teniendo en cuenta la influencia de la radiación que una parte de la pared aporta a otra parte de la pared.

Otro objeto de la invención es proponer un procedimiento para medir con precisión el espesor de la pared de los recipientes de vidrio que presentan una variedad de tonos.

Para lograr un objetivo de este tipo, el procedimiento para medir el espesor de recipientes de vidrio de alta temperatura que salen de las cavidades de conformado comprende las siguientes etapas:

- elegir medir la radiación emitida por el recipiente desde un primer lado y un segundo lado del recipiente diametralmente opuestos para tener en cuenta la radiación emitida por una primera pared del recipiente situada según el primer lado y una segunda pared del recipiente diametralmente opuesto situada según el segundo lado;

- elegir medir la radiación emitida por el recipiente en una primera banda espectral en un rango comprendido entre 2.800 nm y 4.000 nm y en una segunda banda espectral, siendo estas dos bandas espectrales distintas y seleccionadas de manera que:

. por un lado, la absorción de la radiación por el vidrio sea diferente en las dos bandas espectrales por la temperatura de los recipientes;

. y, por otro lado, al menos en la primera banda espectral, la absorción de la radiación por el vidrio sea tal que:

* la radiación medida desde el primer lado del recipiente, procedente de la primera pared, es la suma de la radiación emitida por la primera pared y la radiación emitida por la segunda pared transmitida con absorción a través de la primera pared, de manera que dicha radiación combinada dependa de los espesores y temperaturas de la primera y segunda pared;

* y la radiación medida desde el segundo lado del recipiente, procedente de la segunda pared, es la suma de la radiación emitida por la segunda pared y la radiación emitida por la primera pared y transmitida con absorción a través de la segunda pared, de manera que dicha radiación combinada dependa de los espesores y temperaturas de la primera y segunda pared;

- medir simultáneamente, desde el primer lado del recipiente, la intensidad de la radiación procedente de la primera pared en la primera banda espectral y en la segunda banda espectral y desde el segundo lado del recipiente, la intensidad de la radiación procedente de la segunda pared en la primera banda espectral y en la segunda banda espectral;

- y determinar al menos el espesor de la primera pared y de la segunda pared, a partir de las mediciones de intensidad de la radiación procedente de la primera pared en la primera y segunda banda espectral y de la segunda pared en la primera y segunda banda espectral, teniendo en cuenta la intensidad de la radiación en la primera banda espectral, la radiación emitida por una pared y la radiación transmitida con absorción, y procedente de la otra pared diametralmente opuesta.

Asimismo, el procedimiento según la invención puede incluir, además, en combinación al menos una y/u otra de las siguientes características adicionales:

- en la segunda banda espectral, la absorción de la radiación por el vidrio es diferente a la de la primera banda espectral, y es tal que la radiación medida, por una parte, desde el primer lado del recipiente, procedente de la primera pared es la suma de la radiación emitida por la primera pared y la radiación emitida por la segunda pared y transmitida a través de la primera pared, y por otro lado, desde el segundo lado del recipiente, procedente de la segunda pared es la suma de la radiación emitida por la segunda pared y la radiación emitida por la primera pared y transmitida a través de la segunda pared, dependiendo la radiación combinada del espesor de las paredes y de las temperaturas de las paredes;

- se determina igualmente la temperatura de la primera pared y de la segunda pared, a partir de las mediciones de intensidad de la radiación de la primera pared en la primera y segunda banda espectral y de la segunda pared en la primera y segunda banda espectral, teniendo en cuenta la intensidad de la radiación en la primera banda espectral, la radiación transmitida con absorción y procedente de la pared situada en el otro lado.

Otro objeto de la invención es proponer un procedimiento para medir con precisión el espesor de la pared de los recipientes de vidrio de alta temperatura, para un amplio rango de tonos de vidrio, incluido el vidrio blanco.

Para lograr un objetivo de este tipo, el procedimiento según el cual elegimos medir la radiación emitida por el recipiente en la primera banda espectral en un rango comprendido entre 3000 nm y 4000 nm.

Asimismo, el procedimiento según la invención puede incluir, además, en combinación al menos una y/u otra de las siguientes características adicionales:

- en la segunda banda espectral, la absorción de radiación por el vidrio es tal que la radiación medida por un lado, desde el primer lado del recipiente, procedente de la primera pared es la radiación emitida únicamente por la superficie de la primera pared y, por otro lado, desde el segundo lado del recipiente, procedente de la segunda pared es la radiación emitida únicamente por la superficie de la segunda pared, dependiendo la radiación únicamente de la temperatura;

- se determinan las temperaturas de la primera pared y de la segunda pared, a partir respectivamente de las mediciones de intensidad de la radiación de la primera pared en la segunda banda espectral y de la segunda pared en la segunda banda espectral;

- se elige medir la radiación emitida por el recipiente en la segunda banda espectral en un rango comprendido entre 1.100 nm y 2.600 nm;

- se elige medir la radiación emitida por el recipiente en la segunda banda espectral en un rango superior a 4.500 nm

y preferentemente superior a 5.000 nm;

- se mide la radiación simultáneamente con ayuda de al menos dos cámaras infrarrojas biespectrales, suministrando cada una, para cada recipiente, al menos dos imágenes infrarrojas de la radiación procedente de la pared del recipiente situado en su campo de observación.

5 Otro objeto de la invención es proponer una instalación para medir con precisión el espesor de las paredes de vidrio de los recipientes.

10 Para lograr un objetivo de este tipo, la instalación para medir el espesor de las paredes de los recipientes de vidrio de alta temperatura que salen de las cavidades de conformado y se desplazan según de una trayectoria de traslación, incluye:

15 - al menos una primera y una segunda cámara infrarroja biespectral dispuestas diametralmente opuestas a ambos lados de la trayectoria de los recipientes para tener en cuenta la radiación emitida por una primera pared del recipiente situado en un primer lado del recipiente y una segunda pared del recipiente situado en un segundo lado diametralmente opuesto, suministrando cada cámara dos imágenes infrarrojas de la radiación de la pared del recipiente situada en su campo de observación en una primera banda espectral en un rango comprendido entre 2.800 nm y 4.000 nm y en una segunda banda espectral, siendo estas dos bandas espectrales distintas y seleccionadas de manera que:

. por un lado, la absorción de la radiación por el vidrio sea diferente en las dos bandas espectrales por la temperatura de los recipientes;

20 . y, por otro lado, al menos en la primera banda espectral, la absorción de la radiación por el vidrio sea tal que:

* la radiación medida desde el primer lado del recipiente, viniendo de la primera pared, sea la suma de la radiación emitida por la primera pared y la radiación emitida por la segunda pared y transmitida con absorción a través de la primera pared, de manera que dicha radiación combinada dependa de los espesores y temperaturas de la primera y segunda pared;

25 * y la radiación medida desde el segundo lado del recipiente, procedente de la segunda pared, es la suma de la radiación emitida por la segunda pared y la radiación emitida por la primera pared y transmitida con absorción a través de la segunda pared, de manera que dicha radiación combinada dependa de los espesores y temperaturas de la primera y segunda pared;

30 - un sistema de dirección del funcionamiento de las cámaras infrarrojas biespectrales para adquirir simultáneamente, con la primera cámara, dos imágenes que miden la intensidad de la radiación de la primera pared en la primera banda espectral y en la segunda banda espectral y con la segunda cámara, dos imágenes que miden la intensidad de la radiación de la segunda pared en la primera banda espectral y en la segunda banda espectral;

35 - y una calculadora configurada para determinar al menos los espesores de la primera pared y de la segunda pared, analizando las dos imágenes que dan respectivamente las mediciones de intensidad de la radiación procedente de la primera pared en la primera y segunda banda espectral y las dos imágenes de la segunda pared en la primera y segunda banda espectral, teniendo en cuenta la intensidad de la radiación en la primera banda espectral, la radiación emitida por una pared y la radiación transmitida con absorción, y procedente de la pared situada en el otro lado.

Además, la instalación según la invención puede incluir según un modo de realización:

40 - una cámara infrarroja biespectral que incluye:

- un separador de haz, aguas abajo del cual los rayos se separan en dos haces aguas abajo distintos;

45 - aguas abajo del divisor de haz, dos sensores distintos o dos porciones de sensor, colocados en un plano o dos planos de imagen, recibiendo, cada uno, uno de los dos haces distintos aguas abajo, recibiendo el primer sensor o la primera porción de sensor un primer haz de radiación en la primera banda espectral y el segundo sensor y recibiendo el segundo sensor o la segunda porción de sensor un segundo haz de radiación en la segunda banda espectral;

- estando conformados el primer y el segundo haz aguas arriba o aguas abajo del separador por un objetivo que forma por conjugación óptica en cada plano de imagen, una imagen óptica del recipiente en la primera banda espectral y la segunda banda espectral respectivamente;

50 - siendo filtrado el primer y/o el segundo haz por uno o los filtros ópticos seleccionando respectivamente la primera banda espectral y la segunda banda espectral.

Según otro modo de realización, cada cámara infrarroja biespectral comprende:

- un objetivo que forma por conjugación óptica en un plano sensor, una imagen óptica de un campo atravesado por un recipiente;

55 - dos porciones lineales de sensor distintas, con sus líneas de soporte verticales y dispuestas de manera que durante el movimiento de un recipiente en el campo de un objetivo, se realice una imagen por escaneo con cada una de las dos porciones lineales de sensor;

- la primera porción lineal de sensor que recibe una primera porción de haz de radiación en la primera banda espectral;

- la segunda porción de sensor que recibe una segunda porción de haz de radiación en la segunda banda espectral;

60 - al menos un filtro óptico dispuesto en el recorrido de los haces luminosos, para seleccionar la primera banda espectral y la segunda banda espectral.

Breve descripción de los dibujos

65 [Figura 1] La Figura 1 es una vista general superior que muestra una instalación de inspección acorde con la invención adaptada para medir el espesor de la pared de vidrio de recipientes que salen de una máquina de conformado.

[Figura 2] La Figura 2 es una vista esquemática que explica el principio de radiación de un recipiente con respecto a los puntos de medición situados en cada lado del recipiente, en una primera banda espectral.

5 [Figura 3] La Figura 3 es una vista que ilustra la radiación térmica de un cuerpo negro.

[Figura 4] La Figura 4 es una vista que ilustra la radiación térmica de un cuerpo de vidrio.

10 [Figura 5] La Figura 5 es una vista esquemática que explica el principio de radiación de un recipiente con respecto a los puntos de medición situados a cada lado del recipiente, en una segunda banda espectral.

[Figura 6] La Figura 6 es una vista esquemática que explica el principio de radiación de un recipiente con respecto a los puntos de medición situados a cada lado del recipiente, en una segunda banda espectral sensible únicamente a la temperatura de la superficie de la pared de vidrio.

15 [Figura 7] La Figura 7 es una vista esquemática de un ejemplo de una cámara infrarroja biespectral utilizada en el marco de la invención.

20 [Figura 8] La Figura 8 es una vista esquemática de otro ejemplo de una cámara infrarroja biespectral utilizada en el marco de la invención.

[Figura 9] La Figura 9 es una vista esquemática de otro ejemplo de una cámara infrarroja biespectral utilizada en el marco de la invención.

25 Descripción de los modos de realización

En la descripción de la invención, se utilizan una primera banda espectral λ_1 y una segunda banda espectral λ_2 . Una banda espectral λ es un intervalo de longitud de onda centrado en un valor. Cada banda espectral de trabajo se elige según la invención o las variantes, en rangos de longitud de onda específicos, que son intervalos de longitud de onda más amplios. Esto significa que el intervalo de longitud de onda de cada banda espectral de trabajo está incluido en un rango de longitud de onda preciso.

30 Como se puede observar más precisamente en la Figura 1, el objeto de la invención se refiere a una instalación 1 que permite la inspección en caliente de recipientes de vidrio 2 tales como, por ejemplo, botellas o frascos, para medir el espesor de la pared de vidrio de estos recipientes. La instalación 1 está situada de manera para permitir la inspección de los recipientes 2 que salen de una máquina de fabricación o de conformado 3 de todos los tipos conocidos en sí. En la salida de la máquina de conformado, los recipientes 2 presentan una temperatura alta típicamente comprendida entre 300 °C y 700 °C.

40 La máquina de conformado 3 incluye convencionalmente una serie de cavidades 4, garantizando cada una el conformado de un recipiente 2. De una manera conocida, los recipientes 2 que acaban de ser formados por la máquina 3 se colocan sucesivamente sobre una cinta de salida 5 para formar una fila de recipientes. Los recipientes 2 son transportados en fila por la cinta 5 según una trayectoria de traslación F para trasladarlos sucesivamente a diferentes estaciones de procesamiento.

45 De conformidad con una disposición ventajosa de la invención, pero no exclusiva, la instalación 1 según la invención está colocada lo más cerca posible de la máquina de conformado 3 de tal manera que la cinta de salida 5 garantice el movimiento sucesivo de los recipientes 2 a alta temperatura por delante de esta instalación de inspección 1. Típicamente, la instalación 1 está posicionada entre la salida de la máquina de conformado 3 y el arco de recocido 6, y preferentemente, antes de una campana de procesamiento de superficies que constituye generalmente la primera de las estaciones de procesamiento después del conformado.

50 La instalación 1 según la invención incluye al menos una primera cámara infrarroja biespectral 11 y una segunda cámara infrarroja biespectral 12 dispuestas diametralmente opuestas a ambos lados de la trayectoria de traslación F de los recipientes. Cada cámara infrarroja biespectral 11, 12 está adaptada para suministrar imágenes obtenidas de la radiación infrarroja de la pared del recipiente situado en su campo de observación. Cada cámara infrarroja biespectral 11, 12 suministra para cada recipiente 2, al menos una primera imagen obtenida a partir de la radiación infrarroja recibida en una primera banda espectral λ_1 y al menos una segunda imagen obtenida de la radiación infrarroja recibida en una segunda banda espectral λ_2 . Una banda espectral designa un intervalo de longitudes de onda. Las características de las bandas espectrales λ_1 , λ_2 se especificará más adelante en la descripción.

60 Según la variante de realización ilustrada en la Figura 1, la instalación 1 según la invención incluye igualmente un segundo par 13, 14 de cámaras infrarrojas biespectrales. Estas cámaras infrarrojas biespectrales 13, 14 de este segundo par están dispuestas igualmente diametralmente opuestas a ambos lados de la trayectoria de traslación F de los recipientes. Por ejemplo, las cámaras infrarrojas biespectrales 11, 12 del primer par están dispuestas de manera que sus ejes de observación estén a 45° con respecto a la trayectoria de traslación F. Asimismo, las cámaras infrarrojas

biespectrales 13, 14 del segundo par están dispuestas a 45° con respecto a la trayectoria de traslación F, de tal manera que los ejes de observación de las cámaras infrarrojas biespectrales 11 a 14 están desplazados en pares 90°. Por supuesto, una disposición de este tipo de cámaras infrarrojas biespectrales no es en modo alguno limitativa. Para adaptarse a condiciones de espacio desfavorables entre recipientes en movimiento, los ángulos entre los cuatro ejes de observación se pueden adaptar, por ejemplo, a los siguientes valores: 30°, 150°, 30°, 150°.

La invención podría funcionar igualmente utilizando tres cámaras infrarrojas biespectrales con sus ejes a 120°. En este caso se considera que el campo de cada cámara se divide en dos porciones, conteniendo cada porción del campo la imagen de un sector de 60° del recipiente cilíndrico. Cada porción del campo de una cámara se opone a una porción del campo de otra cámara.

La invención finalmente podrá realizarse con más de cuatro cámaras, respetando el principio de realizar imágenes infrarrojas biespectrales desde el punto de vista de todas las paredes.

La instalación 1 según la invención incluye igualmente un sistema 15 para dirigir el funcionamiento de las cámaras infrarrojas biespectrales para adquirir las imágenes K_1 , K_2 suministradas por las cámaras infrarrojas biespectrales según un procedimiento que se describirá en detalle más adelante en la descripción. La instalación 1 según la invención incluye igualmente una calculadora 16 configurada para determinar el espesor de la pared de vidrio del recipiente analizando las imágenes K_1 , K_2 suministradas por las cámaras infrarrojas biespectrales 11-14.

En el presente texto, una calculadora 16 es una unidad informática que puede comprender de manera conocida concretamente un microprocesador, buses de entrada/salida de datos, memoria, conexiones a una red informática y/o una pantalla. La calculadora puede ser una unidad informática dedicado a la instalación para medir el espeso de las paredes o que se puede compartir con otros elementos de la línea de fabricación de recipientes. Puede ser, por ejemplo, una unidad centralizada de dirección de la línea o de una parte de ella. Entre las entradas-salidas, se incluyen evidentemente los medios para adquirir imágenes infrarrojas. Entre la memoria, se incluyen medios para almacenar las imágenes infrarrojas digitales. El microprocesador está configurado para ejecutar programas organizados para realizar los algoritmos que implementan el procedimiento según la invención.

El análisis informático de imágenes digitales produce un resultado de inspección que puede comprender un resultado binario (verdadero/falso, presente/ausente, conforme/no conforme...) y/o un resultado cualitativo, incluso cuantitativo, por ejemplo, en forma de una o varias mediciones. Por tanto, el resultado de la inspección puede incluir no solamente los valores mínimos y máximos del espesor de vidrio, sino también la distribución y las diferencias verticales u horizontales, así como la ubicación de áreas delgadas o gruesas, importante para corregir el procedimiento. Además de determinar una distribución o mapeo del espesor, por tanto, la distribución del material en el recipiente inspeccionado, el resultado de la inspección puede incluir igualmente mapas de temperatura de los recipientes, la localización de regiones con fuertes restricciones térmicas cuando se observan localmente fuertes variaciones de temperatura. Además, este análisis puede incluir la detección de defectos de apariencia o composición como la presencia de inclusiones, burbujas, pliegues o grietas en la superficie, o defectos geométricos o dimensionales como cuellos inclinados, diferencias en las dimensiones externas.

Entre los resultados de la calculadora, se pueden proporcionar líneas de comunicación hacia cualquier sistema de control de la máquina de fabricación, con el objetivo de corregir las derivas del procedimiento en función de las mediciones realizadas.

La siguiente descripción se realiza teniendo en cuenta únicamente el primer par de cámaras infrarrojas biespectrales 11, 12, considerando que esta descripción puede aplicarse al segundo par de cámaras infrarrojas biespectrales. La primera cámara infrarroja biespectral 11 está dispuesta según un primer lado I del recipiente 2 mientras que la segunda cámara infrarroja biespectral 12 está dispuesta según un segundo lado II del recipiente diametralmente opuesto.

Dado que cada recipiente 2 incluye una pared de vidrio que presenta una forma de revolución o cilíndrica, el posicionamiento diametralmente opuesto de las cámaras infrarrojas biespectrales 11, 12 con respecto a un recipiente lleva a considerar que para cada punto de medición, el recipiente 2 presenta una denominada pared delantera y una denominada pared trasera, correspondiendo la pared delantera y trasera para una cámara infrarroja biespectral a la pared trasera y delantera para la otra cámara. En el ejemplo ilustrado más particularmente en la Figura 2, cada recipiente 2 incluye por convención, una primera pared 2_1 situada en el primer lado I del recipiente, es decir, situada más cerca de la primera cámara infrarroja biespectral 11 y una segunda pared 2_2 , situada en el segundo lado II diametralmente opuesto, es decir, situada más cerca de la segunda cámara infrarroja biespectral 12. De este modo, cada cámara infrarroja biespectral 11, 12 tiene en cuenta la radiación emitida por la pared delantera del recipiente y, eventualmente, la radiación emitida por la pared trasera del recipiente y que ha atravesado la pared delantera.

De conformidad con la invención, cada cámara infrarroja biespectral 11, 12 suministra para cada recipiente, al menos dos imágenes infrarrojas de la radiación del recipiente situado en su campo de observación, una K_1 en una primera banda espectral λ_1 y la otra K_2 , en una segunda banda espectral λ_2 . Esta primera banda espectral λ_1 y esta segunda banda espectral λ_2 se eligen en función del principio de medición descrito a continuación.

En primer lugar hay que considerar que la primera banda espectral λ_1 y la segunda banda espectral λ_2 son distintas o disjuntas, es decir, sin ningún valor común. Según otra característica, la absorción de radiación por el vidrio es diferente en las dos bandas espectrales para la temperatura de los recipientes 2.

5 La teoría de la radiación térmica se recuerda a continuación. En la continuación de la descripción, se asimila la radiación por el bien de la simplificación, a la radiación infrarroja percibida en un ángulo sólido para un observador que observa un cuerpo radiante, por ejemplo una cámara térmica que observa un recipiente.

10 Como se ilustra en la Figura 3, la radiación térmica R_{cn} del cuerpo negro a una longitud de onda dada y una temperatura dada, λ y T respectivamente, viene dada por la expresión:

[Mat. 1]

$$R_{cn}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} + \frac{1}{e^{C_2/\lambda T} - 1}$$

15 Siguiendo la definición de cuerpo negro, la emisividad ϵ es en equilibrio térmico igual a la absorción α :

[Mat. 2]

20 $1 = \epsilon = \alpha$

Para una pared de vidrio (cuerpo gris), la expresión de la radiación total M percibida (radiación total percibida) como se ilustra en la Figura 4 se escribe:

25 [Mat. 3]

$$M = R + \rho + Tr$$

- Donde R es la radiación térmica, ρ la radiación reflejada y Tr la radiación transmitida.

30 En el dominio espectral de trabajo, por tanto, para los intervalos de longitud de onda percibidos por los sensores según la invención, la radiación reflejada se considera insignificante con respecto a la intensidad de la radiación emitida por un recipiente. Como continuación, el flujo percibido por reflexión se considera cero, $F=\rho=0$.

35 [Mat. 4]

$$M = R + Tr$$

40 Para un cuerpo semitransparente, se considera la ley de Beer-Lambert que define la absorción α , de una radiación A en función del espesor e atravesado por la radiación A_0 .

[Mat. 5]

$$Tr = \tau \times A_0 = (1 - \alpha) \times A_0$$

45 - donde A_0 es la radiación incidente y τ es la transmisión.

[Mat. 6]

50 $\epsilon(\lambda, T, e) = \alpha(\lambda, T, e) = (1 - e^{-\mu(\lambda, T)e}) = (1 - \tau(\lambda, T, e))$

- donde $\mu(\lambda T)$ coeficiente de absorción (en mm^{-1}) para una longitud de onda λ y una temperatura T (en $^{\circ}K$) dada. En la práctica, $\mu(\lambda T)$ es el coeficiente de absorción integrado en una banda de longitudes de onda estrecha y centrada en una longitud de onda λ .

55 Acto seguido, las dependencias de la temperatura de la emisividad y la absorción se consideran insignificantes en el campo de las condiciones de aplicación, es decir, para las temperaturas de vidrio e intervalos de longitud de onda elegidos.

La radiación R emitida por la pared de vidrio de espesor e y temperatura T para una longitud de onda dada λ se escribe:

5 [Mat. 7]

$$R(\lambda, T, e) = \varepsilon(\lambda, e) \times R_{cn}(\lambda, T)$$

- donde la emisividad de la pared se expresa según la ecuación [6]:

10 [Mat. 8]

$$\varepsilon(\lambda, e) = 1 - e^{-\mu(\lambda) \cdot e}$$

15 La aplicación de la teoría de la radiación térmica según la invención conlleva a que se tengan en cuenta para un recipiente las dos paredes de vidrio. De hecho, para un punto de medición considerado en el primer lado, por ejemplo, de la primera pared del recipiente, la radiación recibida del recipiente comprende la radiación de la primera pared situada en el lado del punto de medición más la radiación de la segunda pared opuesta que emite hacia el interior del

20 recipiente y que atraviesa la primera pared. De este modo, como se ilustra en la Figura 2, la radiación percibida $M_{12}^{\lambda 1}$ de la primera pared 2₁, de espesor e₁ y de temperatura T₁ del recipiente en una primera banda espectral λ_1 sensible al espesor y la temperatura, incluye radiación térmica $R(\lambda_1, T_1, e_1)$ de dicha pared y la radiación transmitida $\tau(\lambda_1, e_1)$, $R(\lambda_1, T_2, e_2)$ que es la radiación térmica $R(\lambda_1, T_2, e_2)$ de la segunda pared 2₂, de espesor e₂ y temperatura T₂ absorbida al menos parcialmente por la pared 2₁, por tanto, con una transmisión $\tau(\lambda_1, e_1)$. De manera similar, la radiación

25 percibida $M_{21}^{\lambda 1}$ de la segunda pared 2₂, de espesor e₂ y temperatura T₂ del recipiente en la primera banda espectral λ_1 sensible al espesor y la temperatura, incluye la radiación térmica $R(\lambda_1, T_2, e_2)$ de dicha pared y la radiación transmitida $\tau(\lambda_1, e_2)$, $R(\lambda_1, T_1, e_1)$ de la primera pared 2₁, de espesor e₁ y temperatura T₁ absorbida al menos parcialmente por la pared 2₂, por tanto, con una transmisión $\tau(\lambda_1, e_2)$. En lo anterior, las transmisiones $\tau(\lambda_1, e_1)$ y $\tau(\lambda_1, e_2)$ para la longitud de onda λ_1 , depende del espesor de la pared atravesada según la ecuación [6], con la influencia de la temperatura insignificante.

30 De manera análoga, como se ilustra en la Figura 5, en la segunda banda espectral λ_2 sensible al espesor y la

temperatura, la radiación recibida $N_{12}^{\lambda 2}$ de la primera pared 2₁, de espesor e₁ y temperatura T₁ del recipiente incluyendo la radiación térmica emitida por dicha pared en la longitud de onda λ_2 , es decir, $R(\lambda_2, T_1, e_1)$ y la radiación $\tau(\lambda_2, e_1)$, $R(\lambda_2, T_2, e_2)$ de la segunda pared 2₂, de espesor e₂ y temperatura T₂ absorbida al menos parcialmente por la pared 2₁, por tanto, con una transmisión $\tau(\lambda_2, e_1)$. De manera similar, la radiación recibida $N_{21}^{\lambda 2}$ de la segunda pared 2₂, de espesor e₂ y temperatura T₂ del recipiente en la segunda banda espectral λ_2 sensible al espesor y la temperatura incluye la radiación de dicha pared $R(\lambda_2, T_2, e_2)$ y radiación $\tau(\lambda_2, e_2)$, $R(\lambda_2, T_1, e_1)$ de la primera pared 2₁, espesor e₁ y temperatura T₁, al menos parcialmente absorbido por la pared 2₂, por tanto, con una transmisión $\tau(\lambda_2, e_2)$.

40 Teniendo en cuenta la teoría de la radiación térmica recordada anteriormente, es posible escribir las siguientes ecuaciones:

$$[9] \quad M_{12}^{\lambda 1} = R(\lambda_1, T_1, e_1) + \tau(\lambda_1, e_1) \cdot R(\lambda_1, T_2, e_2)$$

$$[10] \quad M_{21}^{\lambda 1} = R(\lambda_1, T_2, e_2) + \tau(\lambda_1, e_2) \cdot R(\lambda_1, T_1, e_1)$$

$$[11] \quad N_{12}^{\lambda 2} = R(\lambda_2, T_1, e_1) + \tau(\lambda_2, e_1) \cdot R(\lambda_2, T_2, e_2)$$

$$[12] \quad N_{21}^{\lambda 2} = R(\lambda_2, T_2, e_2) + \tau(\lambda_2, e_2) \cdot R(\lambda_2, T_1, e_1)$$

5 Estas ecuaciones [9], 10 [11] y [12] se refieren a la radiación considerada en ambos lados del recipiente, es decir, para dos paredes de espesor e1, e2 a la temperatura T1 y T2 respectivamente y separadas por una cámara de aire. Se recuerda que la emisividad debe ser diferente para las longitudes de onda λ1 y λ2, de lo contrario, el sistema, evidentemente, solamente tendría dos ecuaciones en lugar de cuatro.

La invención se basa en el hecho de que las cuatro ecuaciones [9] a [12] permiten conocer las cuatro incógnitas, es decir, para dos paredes el espesor e1, e2 y la temperatura T1 y T2 respectivamente, a partir de las cuatro mediciones de radiación $M_{12}^{\lambda 1}, M_{21}^{\lambda 1}, N_{12}^{\lambda 2}$ y $N_{21}^{\lambda 2}$ proporcionada por medios de medición, tales como cámaras biespectrales infrarrojas que observan recipientes calientes. Las ecuaciones se basan, como se acaba de explicar, en las leyes de Planck para la radiación y las leyes de Beer-Lambert para la transmisión. El conocimiento *a priori* de los recipientes y del material, o de los métodos de identificación de parámetros o de calibración, conlleva a determinar con precisión estas ecuaciones para una producción dada de los recipientes.

15 Para facilitar la implementación de la invención, un método consiste en simplificar las ecuaciones, lo que permite una identificación simplificada de los parámetros y cálculos más rápidos en tiempo real al implementar el método por medio de una calculadora que analiza imágenes infrarrojas. En lo que sigue, por tanto, se definirán las funciones simplificadas de la emisividad, radiación del cuerpo negro y transmisión con absorción alrededor de los puntos de funcionamiento, por tanto, para las bandas espectrales elegidas, para la transmisión espectral del vidrio, para el rango de temperatura de los recipientes que salen de las máquinas de conformado, por tanto, entre 300 y 700 °C, para el rango de espesores a medir, por ejemplo, entre 0,5 y 5 mm.

De conformidad con la ecuación [7], la radiación emitida por una pared, por tanto, la radiación limpia de una pared de vidrio es:

25 [Mat. 13]

$$R(\lambda 1, T1, e1) = \varepsilon(\lambda 1, e1) \times R_{cn}(\lambda 1, T1).$$

30 Según la invención, y según la ecuación [8], la emisividad ε en la primera banda espectral λ1 es una función del espesor del cuerpo semitransparente. Por tanto, esta emisividad es diferente de 1. Para los valores de espesores de pared a medir (por ejemplo, de 0,5 a 5 mm), la emisividad para la primera banda espectral λ1 se aproxima por una función afín del espesor cuyos parámetros se pueden identificar por medición y calibración.

35 [Mat. 14]

$$\varepsilon(e1) = (a \cdot e1 + b)$$

40 con los coeficientes a, b dependiendo de la longitud de onda λ1.

La radiación del cuerpo negro se describirá por una función G(λ1,T), más simple que la ecuación [1]. Para la longitud de onda de trabajo λ1, más precisamente, para la banda espectral de trabajo centrada en λ1, G(λ1,T)= G1(T) es una función únicamente de la temperatura. G1(T) es un modelo simplificado de la radiación de un cuerpo negro para la banda espectral λ1, procedente de la ley de Planck, por ejemplo, es una función polinómica, de potencia o exponencial. En la práctica, esta función G1 tiene en cuenta toda la cadena de adquisición y, concretamente, la sensibilidad espectral del sensor y la transmisión de los componentes ópticos interpuestos entre el recipiente y el sensor. Los parámetros de la función G1, por ejemplo los coeficientes del polinomio, el exponente, el coeficiente de la exponencial, etc. se determinan de cualquier manera apropiada, concretamente, de manera experimental en una fase de calibración del dispositivo de medición según la invención. Evidentemente, para la segunda longitud de onda λ2, la función G(λ2,T) = G2(T) se determina de la misma manera.

Un modelo simplificado para la radiación R emitida por una pared de vidrio a una longitud de onda dada o para una banda espectral dada alrededor de una longitud de onda λ1 ahora se escribe de la siguiente manera:

55

[Mat. 15] $R(\lambda 1, T1, e1) = R(T1, e1) = (a \cdot e1 + b) \times G1(T1)$

En esta expresión los parámetros o constantes de G1(T) y los coeficientes a y b pueden determinarse experimentalmente o *a priori* concretamente según la composición del vidrio. Evidentemente, la radiación de la misma pared para una longitud de onda λ2, así como la radiación de la otra pared de espesor e2 y temperatura T2 se escriben de la misma forma, es decir:

60

[Mat. 15]

$$R(\lambda_1, T_1, e_1) = R(T_1, e_1) = (a \cdot e_1 + b) \times G_1(T_1)$$

[Mat. 16]

5 $R(\lambda_1, T_2, e_2) = R(T_2, e_2) = (a \cdot e_2 + b) \times G_1(T_2)$

[Mat. 17]

$$R(\lambda_2, T_1, e_1) = R(T_1, e_1) = (c \cdot e_1 + d) \times G_2(T_1)$$

10 [Mat. 18]

$$R(\lambda_2, T_2, e_2) = R(T_2, e_2) = (c \cdot e_2 + d) \times G_2(T_2)$$

15 La transmisión τ de una radiación procedente de una pared trasera por la pared delantera de espesor $e = e_1$ o e_2 , se linealiza en la siguiente ecuación [19], utilizando concretamente las ecuaciones [6] y [14] alrededor del punto de funcionamiento determinado por una temperatura dada, la primera banda espectral centrada alrededor de la primera longitud de onda λ_1 y para el rango de espesores a medir:

[Mat. 19]

20 $\tau(\lambda_1, e) = e^{-\mu(\lambda_1)e} = 1 - \alpha = 1 - \varepsilon(e) = 1 - (a \cdot e + b)$

Asimismo, para la segunda banda espectral centrada alrededor de λ_2 , la atenuación de la radiación procedente de la pared delantera por la pared trasera es:

25 [Mat. 20]

$$\tau(\lambda_2, e) = e^{-\mu(\lambda_2)e} = 1 - \alpha = 1 - \varepsilon(e) = 1 - (c \cdot e + d)$$

30 Los coeficientes a y b , c y d se obtienen por calibración o se conocen *a priori* por cualquier método apropiado. Dependen, desde un punto de funcionamiento, concretamente de las longitudes de onda λ_1 y λ_2 elegidas y de la zona de temperatura de los recipientes inspeccionados y el rango de espesores a medir.

35 Para la longitud de onda λ_1 , la radiación $M_{12}^{\lambda_1}$ corresponde a la radiación total de la primera pared más la radiación de la segunda pared modulada por la absorción de la primera pared. Por tanto, se puede expresar de la siguiente manera:

[Mat. 21]

$$M_{12}^{\lambda_1} = (a \cdot e_1 + b) \times G_1(T_1) + (1 - (a \cdot e_1 + b)) \times (a \cdot e_2 + b) \times G_1(T_2)$$

40 Asimismo, la radiación $M_{21}^{\lambda_1}$ corresponde a la radiación total de la segunda pared más la radiación de la primera pared modulada por la absorción de la segunda pared. Por tanto, se puede expresar de la siguiente manera:

[Mat. 22]

45 $M_{21}^{\lambda_1} = (a \cdot e_2 + b) \times G_1(T_2)$

$$+ (1 - (a \cdot e_2 + b)) \times (a \cdot e_1 + b) \times G_1(T_1)$$

De la misma manera para la longitud de onda λ_2 , la radiación N_{12} corresponde a la radiación total de la primera pared más la radiación de la segunda pared modulada por la absorción de la primera pared. Por tanto, se puede expresar

N₁₂ tal que:

[Mat. 23]

$$N_{12}^{\lambda 2} = (c \cdot e1 + d) \times G2(T1) + (1 - (c \cdot e1 + d)) \times (c \cdot e2 + d) \times G2(T2)$$

5

Asimismo, por tanto, se puede expresar $N_{21}^{\lambda 2}$ tal que:

[Mat. 24]

10

$$N_{21}^{\lambda 2} = (c \cdot e2 + d) \times G2(T2) + (1 - (c \cdot e2 + d)) \times (c \cdot e1 + d) \times G2(T1)$$

15

En esta primera variante de la invención, si la segunda banda espectral $\lambda 2$ se elige para que la emisividad aunque sea diferente de la de la primera banda espectral $\lambda 1$, dependa del espesor, entonces las ecuaciones [9], [10], [11] y [12] pueden sustituirse respectivamente por las ecuaciones [21], [22], [23] y [24].

De manera complementaria, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones debido, concretamente, a las características presentadas por los recipientes 2 que salen de la máquina de conformado.

20

Cabe señalar que en un rango determinado de longitud de onda, la emisividad del vidrio es muy poco sensible a la temperatura de la pared que varía entre 300 y 700 °C. Para este rango determinado de longitud de ondas, el coeficiente de absorción (por tanto, la emisividad) no depende de la temperatura o esta dependencia es insignificante. De este modo, solo el coeficiente de absorción espectral μ une la absorción con el espesor y une de manera similar la emisividad con el espesor.

25

Según una característica de la invención, la primera banda espectral $\lambda 1$ se elige en este rango de longitud de ondas para el cual la emisividad del vidrio no depende de la temperatura. Esto permite aplicar las ecuaciones [7] y [8].

30

Además, para una banda espectral determinada en un rango superior a 4.500 nm y, preferentemente, superior a 5.000 nm, la emisividad del vidrio es muy cercana a 1, es decir, se considera igual a 1 por aproximación. Para esta banda espectral, la radiación se asimila a la del cuerpo negro. Según una variante preferente de realización, la segunda banda espectral $\lambda 2$ se elige en este rango de longitudes de ondas, para el cual la radiación no depende del espesor, para el cual la pared observada no transmite la radiación de la cara opuesta, dado que la absorción es igualmente cercana a 1, dicho de otra forma, el vidrio es opaco en este rango de longitudes de onda. Se deducen las expresiones de la radiación percibida en esta banda espectral, para cada cara de la pared, es decir:

35

[Mat. 25]

$$N_1 = R(\lambda 1, T1, e1) = G(T1)$$

40

[Mat. 26]

$$N_2 = R(\lambda 2, T2, e2) = G(T2)$$

45

Por tanto, en esta variante, las ecuaciones [9], [10], [11] y [12] pueden sustituirse respectivamente por las ecuaciones [21], [22], [25] y [26]. Esta variante que utiliza una longitud de onda en la que la radiación no depende del espesor simplifica los cálculos para resolver el sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas, ya que las incógnitas T1 y T2, por tanto, las temperaturas de las dos paredes se deducen inmediatamente de las ecuaciones [21] y [22].

50

De conformidad con la invención, la primera banda espectral $\lambda 1$ se elige de manera que, en la primera banda espectral, la absorción de radiación por el vidrio sea tal que:

* la radiación medida desde el primer lado del recipiente 2, procedente de la primera pared 2₁, es la suma de las radiaciones emitidas por la primera pared 2₁ y la radiación emitida por la segunda pared 2₂ y transmitida con absorción a través de la primera pared 2₁, de manera que dicha radiación combinada dependa de los espesores y temperaturas

de la primera y segunda pared,

* y la radiación medida desde el segundo lado del recipiente 2, procedente de la segunda pared 2₂, es la suma de las radiaciones emitidas por la segunda pared 2₂, y la radiación emitida por la primera pared 2₁ y transmitida con absorción a través de la segunda pared 2₂, de manera que dicha radiación combinada dependa de los espesores y temperaturas de la primera y segunda pared.

Debe entenderse que la invención propone medir la radiación infrarroja con una primera banda espectral λ_1 en la que la intensidad de la radiación depende del espesor de la pared de vidrio y de la temperatura de la superficie de la pared. Según la invención, la primera banda espectral λ_1 se elige de modo que la emisividad dependa del espesor de la pared, por tanto, que esté lejos de 1, pero también sea lo suficientemente fuerte para que se pueda medir suficiente radiación. Además, se busca que esta emisividad varíe poco con el tono del vidrio. De este modo, esta primera banda espectral λ_1 se elige de modo que la emisividad varíe, por ejemplo, entre (aproximadamente) 0,3 y 0,7 para el vidrio blanco cuando el espesor varía entre 1 y 5 mm, para temperaturas de vidrio de alrededor de 450 °C, más ampliamente, entre 300 y 700 °C. Cabe señalar que la emisividad para el mismo espesor y las mismas temperaturas de vidrio verde o ámbar varía alrededor de los mismos valores.

Además, esta primera banda espectral λ_1 se elige para obtener transmisión con absorción por la cara delantera de la radiación procedente de la cara trasera. De hecho, esto permite que en las ecuaciones [10] y [11], las transmisiones respectivamente $\tau(\lambda_1, e_1) = e^{-\mu(\lambda_1)e_1}$ y $\tau(\lambda_1, e_2) = e^{-\mu(\lambda_1)e_2}$ no valen 1, por tanto, la atenuación no es cero. Una atenuación cero no correspondería a un recipiente normal. Con atenuación cero, solo se podría medir la suma de los espesores $e_1 + e_2$ de las dos paredes sin diferenciar las dos. En cambio, si la absorción es total $e^{-\mu(\lambda_1)e_1} = 0$ o $e^{-\mu(\lambda_1)e_2} = 0$ esto significa que el vidrio es opaco para la primera banda espectral. En este caso, solamente se mediría en esta primera banda espectral la temperatura de la superficie de la pared delantera, independientemente del espesor.

Cabe señalar que la radiación emitida por el recipiente en la primera banda espectral λ_1 se puede elegir en un rango comprendido entre 1100 nm y 2600 nm. No obstante, este rango es adecuado para recipientes de vidrio verde o de vidrio ámbar, pero no para recipientes de vidrio blanco porque, en este rango, la emisividad del vidrio blanco (transparente) es muy débil.

De conformidad con la invención, la primera banda espectral λ_1 se elige en un rango comprendido entre 2800 nm y 4000 nm y preferentemente entre 3000 nm y 4000 nm. Esta primera banda espectral preferida se elige para funcionar para un gran número de tonos de vidrio, incluyendo el vidrio blanco.

Como se indicó anteriormente, la segunda banda espectral λ_2 se elige de manera que la absorción de la radiación por el vidrio sea diferente a la de la primera banda espectral λ_1 . Se recuerda que la emisividad varía entre 0,3 y 0,7 para la primera banda espectral λ_1 elegida. Según una variante de realización ilustrada en la Figura 5, la segunda banda espectral λ_2 se elige igualmente de manera que la radiación medida, por una parte, desde el primer lado del recipiente, procedente de la primera pared 2₁ es la suma de las radiaciones emitidas por la primera pared 2₁ y de la radiación emitida por la segunda pared 2₂ y transmitida a través de la primera pared, y por otro lado, desde el segundo lado del recipiente, procedente de la segunda pared 2₂ es la suma de la radiación emitida por la segunda pared 2₂ y la radiación emitida por la primera pared 2₁ y transmitida a través de la segunda pared 2₂, dependiendo la radiación combinada de los espesores de las paredes y de las temperaturas de las paredes.

Según esta primera variante de realización, la radiación emitida por el recipiente en la segunda banda espectral λ_2 se elige en un rango comprendido entre 1100 nm y 2600 nm. En esta variante, la transmisión es fuerte y la emisividad puede ser débil para ciertos vidrios, típicamente, inferior a 0,1 para los espesores de vidrio de 1 a 5 mm a 450 °C. Como la señal infrarroja es restringida, la precisión de la medición del espesor puede ser insuficiente para estos tonos de vidrio.

Según una segunda variante de realización preferida ilustrada en la Figura 6, la segunda banda espectral λ_2 se elige de manera que la absorción de la radiación por el vidrio sea tal que la radiación medida por un lado, desde el primer lado I del recipiente, desde la primera pared 2₁ es la radiación emitida solamente por la superficie de la primera pared 2₁ y, por otro lado, desde el segundo lado II del recipiente, procedente de la segunda pared 2₂ es la radiación emitida solamente por la superficie de la segunda pared, dependiendo dicha radiación solamente de la temperatura.

De este modo, radiación $N_1^{\lambda_2}$ emitida por la primera pared del recipiente en la segunda banda espectral es sensible únicamente a la temperatura de la superficie. Asimismo, la radiación $N_2^{\lambda_2}$ emitida por la segunda pared del recipiente en la segunda banda espectral es sensible únicamente a la temperatura de la superficie.

Según esta variante de realización preferida, la segunda banda espectral λ_2 se elige en un rango superior a 4.500 nm y preferentemente superior a 5.000 nm. La segunda banda espectral λ_2 se elige para que la emisividad sea cercana a 1, es decir cercana a la del cuerpo negro. Esto significa que la absorción de la radiación por el vidrio en esta banda espectral es fuerte, de tal manera que la emisividad es, por ejemplo, superior a 0,9. La radiación N_1, N_2 percibida en la segunda banda espectral λ_2 para la primera cara y para la segunda cara está representada con bastante fidelidad

por la ley de Planck o la función de aproximación según la invención $G(T1)$ y $G(T2)$, como lo indican las ecuaciones [25] y [26].

Según esta variante preferida de realización con la segunda banda espectral λ_2 elegida en un rango superior a 4.500 nm y preferentemente superior a 5.000 nm, es ventajoso elegir simultáneamente la primera banda espectral λ_1 en un rango comprendido entre 2.800 nm y 4.000 nm y preferentemente entre 3.000 nm y 4.000 nm. De este modo, resulta posible medir o producir imágenes en las dos bandas espectrales λ_1 y λ_2 , utilizar una única tecnología de sensor de tipo sensor MWIR (infrarrojo de onda media, por sus siglas en inglés), preferentemente, no refrigerado. Un sensor refrigerado se refiere en el presente documento a sensores MWIR o LWIR, tales como los comercializados por las empresas SOFRADIR o LYNRED, que están equipados con sistemas de refrigeración de tipo criogénico. De hecho, un sensor no refrigerado es significativamente más barato que un sensor refrigerado, es más robusto. Por supuesto, las cámaras MWIR según la invención están equipadas con soluciones de protección de la radiación (pantalla, tragaluz, recinto refrigerado) y de refrigeración y/o disipación de calor, tales como, por ejemplo: circuitos de agua, ventilación forzada, células de efecto Pelletier, caloductos, radiadores, etc.

Típicamente, la primera banda espectral λ_1 se elige en un rango comprendido entre 3000 nm y 4000 nm y la segunda banda espectral λ_2 se elige en un rango superior a 4500 nm. Ventajosamente, la primera banda espectral λ_1 se elige centrada alrededor de un valor de longitud de onda del orden de 3600 nm mientras que en la segunda banda espectral λ_2 se elige centrada alrededor de un valor de longitud de onda del orden de 4700 nm.

De conformidad con la invención, las cámaras infrarrojas biespectrales 11-14 son dirigidas por el sistema 15 para medir, desde el primer lado I del recipiente, la intensidad de la radiación procedente de la primera pared 2_1 en la primera banda espectral λ_1 y simultáneamente en la segunda banda espectral λ_2 y desde el segundo lado II del recipiente, la intensidad de la radiación procedente de la segunda pared 2_2 en la primera banda espectral λ_1 y simultáneamente en la segunda banda espectral λ_2 . De este modo, por cada recipiente 2, la invención tiene como objetivo realizar al menos dos mediciones de la intensidad de la radiación recibida de dos paredes opuestas en una primera banda espectral y al menos dos mediciones de la intensidad de la radiación de dos paredes opuestas en una segunda banda espectral. Según una característica ventajosa, la invención tiene como objetivo realizar, como medida de radiación, imágenes unidimensionales o bidimensionales de las paredes de los recipientes. De este modo, cada una de las cámaras infrarrojas biespectrales 11, 14 suministra, para cada recipiente, al menos dos imágenes infrarrojas de la radiación procedente de la pared del recipiente situado en su campo de observación. Según una variante de realización, las dos cámaras infrarrojas biespectrales 11, 12 suministran para cada recipiente al menos dos imágenes de radiación infrarroja en la primera banda espectral y al menos dos imágenes de radiación infrarroja en la segunda banda espectral. Según otra variante de realización que implementa cuatro cámaras infrarrojas biespectrales 11, 14, se pueden obtener ocho imágenes de la radiación infrarroja para que la pared del recipiente en su conjunto quede representada en las dos bandas espectrales. En ese caso, el campo observado es tal que cada cámara mide al menos un cuarto de la circunferencia del recipiente.

Se puede considerar igualmente aumentar la cobertura de vistas por medio de tres pares de cámaras biespectrales opuestas. De manera más general, se puede prever cualquier disposición de las cámaras en función de la forma y la separación de los recipientes, para observar completamente la circunferencia de los recipientes, tanto si su forma se caracteriza por una sección plana horizontal circular (cuerpo en forma de cono o cilindro ordinario) o rectangular, poligonal, etc., de conformidad con las prácticas de los expertos en la técnica y, concretamente, según la estructura de los sistemas de inspección en línea en el sector del frío.

De conformidad con otra característica de la invención, la calculadora 16 permite determinar al menos el espesor e_1 de la primera pared 2_1 y el espesor e_2 de la segunda pared 2_2 , a partir de las mediciones de intensidad de la radiación procedente de la primera pared 2_1 en la primera y segunda banda espectral y en la segunda pared 2_2 en la primera y segunda banda espectral, teniendo en cuenta la intensidad de la radiación en la primera banda espectral, la radiación emitida por una pared y la radiación transmitida con absorción, y procedente de la otra pared diametralmente opuesta.

De este modo, el espesor e_1 de la primera pared 2_1 y el espesor e_2 de la segunda pared 2_2 se determinan y a partir de las cuatro mediciones de intensidad de radiación, según las ecuaciones generales [9], [10], [11] y [12], o más precisamente, su simplificación [21], [22], [23] y [24], o incluso [21], [22], [25] y [26] cuando se elige la segunda longitud de onda de forma que la emisividad sea cercana a 1. Este sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas se puede resolver al menos en las versiones linealizadas, pero también con modelos más complejos si fuera necesario con el objetivo de aumentar la precisión de la medición.

Según la variante preferida de realización para la cual la segunda banda espectral λ_2 depende únicamente de la temperatura, los espesores y eventualmente, las temperaturas se determinan a partir del sistema de ecuaciones, [21], [22], [25] y [26].

Se recuerda que para esta variante preferida de realización, la radiación infrarroja se mide, por un lado, con una primera banda espectral en la que la intensidad de la radiación depende del espesor de la pared y de la temperatura de la superficie y, por otro lado, con una segunda banda espectral en la que la intensidad de la radiación depende únicamente de la temperatura de la superficie. De este modo, la información de la temperatura se puede "restar de la

señal".

A partir de las cuatro mediciones independientes de la radiación y teniendo en cuenta en la primera banda espectral la influencia de la cara opuesta sobre la radiación percibida por cada cara, es posible deducir el espesor e_1 de la primera cara, el espesor e_2 de la segunda cara y eventualmente, la temperatura T_1 del primer lado y la temperatura T_2 de la segunda cara. Para realizar este cálculo, se utiliza un modelo matemático que une las cuatro mediciones de radiación y las cuatro mediciones finales, es decir, las dos mediciones de espesor y las dos mediciones de temperatura.

Este modelo matemático puede ser empírico o analítico. Puede que únicamente sea válido para ciertas condiciones de funcionamiento que permiten fijar constantes y linealizar el modelo. Por supuesto, las simplificaciones hechas en las ecuaciones [15] y [19] no son esenciales para la invención, simplemente permiten una implementación más fácil y menos costosa de los cálculos. El modelo analítico obviamente puede ser más elaborado, permitiendo mediciones más precisas y teniendo en cuenta la composición, las temperaturas medias o las formas de los recipientes. El modelo matemático también puede incluir un modelo geométrico capaz de describir la geometría 3D de un recipiente, teniendo como características una distribución de espesor de vidrio y una distribución de temperatura. Por ejemplo, para un artículo de tipo cónico simple, la superficie del cuerpo sería un cono, cada punto del cual tiene un valor de espesor en mm y una temperatura en °K.

De la descripción se desprende que la instalación 1 según la invención incluye cámaras infrarrojas biespectrales 11-14. Aunque se pueden utilizar sin inconvenientes sensores de imágenes no planas para realizar la invención a partir de imágenes no planas, la descripción asume sensores planos y el término imagen formada generalmente significa una imagen plana de un objeto o escena, en este caso, de al menos una parte de la pared de un recipiente.

Cuando hay varios sensores por cámara, entonces hay varias maneras de juntarlos. A continuación, se especifican aguas arriba y aguas abajo la posición de los elementos ópticos colocados sobre los haces de radiación recogidos y procesados en el sentido de la trayectoria de la luz que va desde el recipiente para llegar a un sensor.

Según una primera variante de la invención, una cámara infrarroja biespectral comprende, como se ilustra, por ejemplo, en las Figuras 7, 8:

- un separador de haces 20, aguas abajo del cual los rayos se separan en dos haces aguas abajo distintos;
- aguas abajo del separador de haces 20, dos sensores 21, 22 distintos (Figura 7) o dos porciones de sensor (Figura 8), colocados en un plano o dos planos de imagen, recibiendo, cada uno, uno de los dos haces distintos aguas abajo, recibiendo el primer sensor o la primera porción de sensor un primer haz de radiación en la primera banda espectral y el segundo sensor y recibiendo el segundo sensor o la segunda porción de sensor un segundo haz de radiación en la segunda banda espectral;
- estando conformadas el primer y segundo haz aguas arriba o aguas abajo del separador 20, por un objetivo 23 que forma por conjugación óptica en cada plano de imagen, por tanto, cada sensor o porción de sensor, una imagen óptica K_1 , K_2 del recipiente en la primera banda espectral y la segunda banda espectral respectivamente;
- siendo filtrado el primer y/o el segundo haz por uno o más filtros ópticos, por ejemplo del tipo de paso de banda 25, 26, seleccionando respectivamente la primera banda espectral y la segunda banda espectral.

Los al menos dos sensores distintos 21, 22 (Figura 7) o porciones de sensor (Figura 8), suministrando cada uno de cada recipiente una imagen digital que corresponde a la conversión de las imágenes ópticas K_1 , K_2 de radiación M o N percibida en al menos dos bandas de longitud de onda infrarroja distintas.

El separador de haces 20 es, por ejemplo, un prisma, una cámara o un cubo separador. Es un componente óptico que desvía un haz óptico aguas arriba a lo largo de dos haces ópticos aguas abajo en dos direcciones diferentes.

Una porción lineal de sensor es una línea de elementos fotosensibles yuxtapuestos. La adquisición o lectura de una porción lineal del sensor proporciona una sola línea de imagen digital. También, al inspeccionar recipientes en movimiento, es conocido adquirir líneas sucesivas de imagen digital para reproducir, por el método simple y conocido de escaneo, una imagen bidimensional de un recipiente que atraviesa el campo plano de una porción lineal de sensor, (*nb campo plano = definido por la línea de sensor y centro óptico = campo tipo abanico*). Evidentemente, el vector de desplazamiento o movimiento no es paralelo a la dirección de la porción lineal del sensor. Hay sensores lineales en el mercado que incluyen una única línea de elementos fotosensibles. También hay sensores que incluyen varias líneas de elementos fotosensibles yuxtapuestos, y que suministran como señal únicamente líneas de imagen digital que son combinaciones de la información de las diferentes líneas. Por último, se puede dirigir un sensor matricial para adquirir solo una o dos o varias líneas de imagen digital procedentes de líneas distintas del sensor, y, a partir de estas líneas distintas yuxtapuestas en el tiempo, obtener por escaneado una o dos o varias imágenes 2D del recipiente en movimiento separadas en el tiempo que corresponden a diferentes posiciones. Dicho de otra manera, un sensor matricial se puede utilizar como uno o dos o varios sensores lineales, suministra líneas de imagen digital a lo largo del tiempo. El concepto de porción lineal de sensor cubre los dos métodos.

Según una segunda variante de la invención, cada cámara infrarroja biespectral comprende, como se ilustra, por ejemplo, en la Figura 9:

- un objetivo 23 que forma por conjugación óptica en un plano sensor, una imagen óptica K_3 de un campo atravesado

por un recipiente;

- dos porciones lineales de sensor distintas 41, 42 con sus líneas de apoyo s_1 , s_2 verticales y dispuestas de manera que durante el movimiento de un recipiente en el campo de un objetivo 23, se realice una imagen por escaneo con cada una de las dos porciones lineales de sensor;

5 - recibiendo la primera porción lineal de sensor 41 una primera porción del haz de radiación 31 en la primera banda espectral;

- recibiendo la segunda porción de sensor 42 una segunda porción del haz de radiación 32 en la segunda banda espectral;

10 - al menos un filtro óptico 45 dispuesto en el trayecto de los haces luminosos, entre el objetivo y las dos porciones lineales de sensor 41, 42 para seleccionar la primera banda espectral y la segunda banda espectral.

Cabe señalar que el separador de haces 20 no es necesario en esta versión.

15 De esta manera, después de que un recipiente haya atravesado el campo del objetivo 23, ha atravesado el campo de cada una de las dos porciones lineales de sensor. Por escaneo se obtienen dos imágenes bidimensionales del recipiente en las dos longitudes de ondas elegidas.

20 Una forma ventajosa de realización es utilizar un único sensor bidimensional 43, colocado detrás de al menos un filtro óptico que cubre una sola parte del sensor, como se ilustra en la Figura 9. Otra forma consiste en disponer dos sensores lineales en el plano de la imagen.

Por supuesto en esta segunda variante, nada se opone a que, durante el movimiento de un recipiente en el campo del objetivo 23, su imagen bidimensional se forme, en un momento dado, formado, en la primera y, en parte, en la segunda porción de sensor 41, 42.

25 Eventualmente, en todas las variaciones, se utilizan dos filtros ópticos para seleccionar estas dos bandas espectrales. Puede resultar ventajoso elegir filtros de paso de banda como filtros ópticos.

30 Está claro que es necesario al menos un filtro, solamente si las dos porciones de sensor son de la misma tecnología y, en consecuencia, cada una tiene la misma respuesta o sensibilidad espectral intrínseca.

35 Según una variante preferida en la que la segunda banda espectral λ_2 se elige en un rango superior a 4.500 nm y, preferentemente, superior a 5.000 nm, y la primera banda espectral λ_1 en un rango comprendido entre 2.800 nm y 4.000 nm y, preferentemente, entre 3.000 nm y 4.000 nm, se pueden usar para el o los sensores uno o dos sensores de tipo sensor MWIR (infrarrojos de onda media) que no necesitan ningún sistema de enfriamiento como se ha explicado anteriormente. Esto permite realizar las variantes ilustradas en las Figuras 8 y 9 que comprenden un único sensor. Para realizar variantes que incluyen dos sensores, como se ilustra en la Figura 7, el uso de dos sensores de la misma tecnología simplifica la implementación, concretamente, permitiendo que los dos sensores tengan la misma resolución para el mismo campo y sean sincrónicos, con medios de dirección comunes y simplificados.

40 El o los sensores incluidos en cada cámara infrarroja biespectral se basan, por ejemplo, en PbSe a 196 o 300°K o microbolómetros.

Por supuesto, la invención no se limita a los modos de realización de cámara biespectral descritos anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para medir el espesor de recipientes de vidrio de alta temperatura (2) que salen de cavidades de conformado, comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas:
- 5 - elegir medir la radiación emitida por el recipiente (2) desde un primer lado (I) y un segundo lado (II) del recipiente diametralmente opuestos para tener en cuenta la radiación emitida por una primera pared (2₁) del recipiente situada según el primer lado y una segunda pared (2₂) del recipiente diametralmente opuesto situada en el segundo lado;
- elegir medir la radiación emitida por el recipiente (2) en una primera banda espectral (λ_1) en un rango comprendido entre 2.800 nm y 4.000 nm y en una segunda banda espectral (λ_2), siendo estas dos bandas espectrales distintas y
- 10 seleccionadas de manera que:
- . por un lado, la absorción de la radiación por el vidrio sea diferente en las dos bandas espectrales por la temperatura de los recipientes;
- . y, por otro lado, al menos en la primera banda espectral (λ_1), la absorción de la radiación por el vidrio sea tal que:
- * la radiación medida desde el primer lado (I) del recipiente, procedente de la primera pared (2₁), es la suma de la
- 15 radiación emitida por la primera pared (2₁) y de la radiación emitida por la segunda pared (2₂) transmitida con absorción a través de la primera pared (2₁), de manera que dicha radiación combinada dependa de los espesores y temperaturas de la primera y segunda pared (2₁, 2₂);
- * y la radiación medida desde el segundo lado (II) del recipiente, procedente de la segunda pared (2₂), es la suma de la radiación emitida por la segunda pared (2₂) y la radiación emitida por la primera pared (2₁) y transmitida con
- 20 absorción a través de la segunda pared (2₂), de manera que dicha radiación combinada dependa de los espesores y temperaturas de la primera y segunda pared (2₁, 2₂);
- medir simultáneamente, desde el primer lado (I) del recipiente, la intensidad de la radiación procedente de la primera pared (2₁) en la primera banda espectral (λ_1) y en la segunda banda espectral (λ_2) y desde el segundo lado (II) del
- 25 recipiente, la intensidad de la radiación procedente de la segunda pared (2₂) en la primera banda espectral (λ_1) y en la segunda banda espectral (λ_2);
- y determinar al menos el espesor de la primera pared y de la segunda pared (2₂), a partir de las mediciones de intensidad de la radiación procedente de la primera pared en la primera y segunda banda espectral y de la segunda
- 30 pared en la primera y segunda banda espectral, teniendo en cuenta la intensidad de la radiación en la primera banda espectral, la radiación emitida por una pared y la radiación transmitida con absorción y procedente de la otra pared diametralmente opuesta.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, según el cual en la segunda banda espectral (λ_2), la absorción de la radiación por el vidrio es diferente de la de la primera banda espectral (λ_1), y es tal que la radiación medida, por una
- 35 parte, desde el primer lado (I) del recipiente, procedente de la primera pared (2₁) es la suma de la radiación emitida por la primera pared (2₁) y la radiación emitida por la segunda pared (2₂) y transmitida a través de la primera pared (2₁), y por otro lado, desde el segundo lado del recipiente, procedente de la segunda pared (2₂) es la suma de la radiación emitida por la segunda pared (2₂) y la radiación emitida por la primera pared (2₁) y transmitida a través de la
- 40 segunda pared, dependiendo la radiación combinada de los espesores de las paredes y de las temperaturas de las paredes.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, según el cual se determina igualmente la temperatura (T₁) de la primera pared (2₁) y la segunda pared (2₂), a partir de las mediciones de intensidad de la radiación de la primera
- 45 pared (2₁) en la primera y segunda banda espectral y la segunda pared (2₂) en la primera y segunda banda espectral, teniendo en cuenta la intensidad de la radiación en la primera banda espectral, la radiación transmitida con absorción y procedente de la pared situada al otro lado.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, según el cual se elige medir la radiación emitida por el
- 50 recipiente en la primera banda espectral (λ_1) en un rango comprendido entre 3000 nm y 4000 nm.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 4, según el cual en la segunda banda espectral (λ_2), la absorción de la radiación por el vidrio es tal que la radiación medida por un lado, desde el primer lado (I) del recipiente, procedente de la primera pared (2₁) es la radiación emitida solamente por la superficie de la primera pared (2₁) y, por
- 55 otro lado, desde el segundo lado (II) del recipiente, procedente de la segunda pared (2₂) es la radiación emitida solamente por la superficie de la segunda pared (2₂), dependiendo la radiación solamente de la temperatura.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que se determinan las temperaturas (T₁, T₂) de la primera pared y la
- 60 segunda pared, a partir, respectivamente, de las mediciones de intensidad de la radiación de la primera pared (2₁) en la segunda banda espectral (λ_2) y de la segunda pared (2₂) en la segunda banda espectral (λ_2).
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, según el cual se elige medir la radiación emitida por el
- 65 recipiente en la segunda banda espectral (λ_2) en un rango comprendido entre 1.100 nm y 2.600 nm.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 o 6, según el cual se elige medir la radiación emitida por el
- recipiente en la segunda banda espectral (λ_2) en un rango superior a 4.500 nm y, preferentemente, superior a 5.000 nm.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, según el cual la radiación se mide simultáneamente con ayuda de al menos dos cámaras infrarrojas biespectrales (11, 12 - 13, 14) que suministran cada una para cada recipiente al menos dos imágenes infrarrojas de la radiación de la pared del recipiente situado en su campo de observación.

5 10. Instalación para medir el espesor de las paredes de recipientes de vidrio de alta temperatura (2) que salen de cavidades de conformado (4) y se desplazan según una trayectoria de traslación (F), incluyendo la instalación:

- al menos una primera (11) y una segunda (12) cámara infrarroja biespectral dispuestas diametralmente opuestas a ambos lados de la trayectoria (F) de los recipientes para tener en cuenta la radiación emitida por una primera pared (21) del recipiente (2) situado en un primer lado (I) del recipiente y una segunda pared (22) del recipiente situado en un segundo lado diametralmente opuesto, suministrando cada cámara (11, 12) dos imágenes de radiación infrarroja de la pared del recipiente situada en su campo de observación en una primera banda espectral (λ_1) en un rango comprendido entre 2.800 nm y 4.000 nm y en una segunda banda espectral (λ_2), siendo estas dos bandas espectrales distintas y seleccionadas de manera que:

15 . por un lado, la absorción de la radiación por el vidrio sea diferente en las dos bandas espectrales (λ_1 , λ_2) para la temperatura de los recipientes;

. y, por otro lado, al menos en la primera banda espectral (λ_1), la absorción de la radiación por el vidrio sea tal que:

* la radiación medida desde el primer lado del recipiente, procedente de la primera pared (21), es la suma de la radiación emitida por la primera pared (21) y la radiación emitida por la segunda pared (22) y transmitida con absorción a través de la primera pared (21), de manera que dicha radiación combinada dependa de los espesores y temperaturas de la primera y segunda pared;

* y la radiación medida desde el segundo lado (II) del recipiente, procedente de la segunda pared (22), es la suma de la radiación emitida por la segunda pared (22) y la radiación emitida por la primera pared (21) y transmitida con absorción a través de la segunda pared (22), de manera que dicha radiación combinada dependa de los espesores y temperaturas de la primera y segunda pared (21, 22);

25 - un sistema (15) para dirigir el funcionamiento de las cámaras infrarrojas biespectrales (11, 12) para adquirir simultáneamente, con la primera cámara (11), dos imágenes que miden la intensidad de la radiación de la primera pared (21) en la primera banda espectral (λ_1) y en la segunda banda espectral (λ_2) y con la segunda cámara (12), midiendo las dos imágenes la intensidad de la radiación de la segunda pared (22) en la primera banda espectral (λ_1) y en la segunda banda espectral (λ_2);

30 - y una calculadora (16) configurada para determinar al menos los espesores (e_1 , e_2) de la primera pared (21) y la segunda pared (22), analizando las dos imágenes que dan, respectivamente, las mediciones de intensidad de la radiación procedente de la primera pared (21) en la primera (λ_1) y segunda (λ_2) banda espectral y las dos imágenes de la segunda pared en la primera y segunda banda espectral, teniendo en cuenta la intensidad de la radiación en la primera banda espectral, la radiación emitida por una pared y la radiación transmitida con absorción, y procedente de la pared situada en el otro lado.

11. Instalación según la reivindicación 10, caracterizada por que una cámara infrarroja biespectral (11-14) incluye:

- un separador de haces (20), aguas abajo del cual los rayos se separan en dos haces aguas abajo distintos;

40 - aguas abajo del separador de haces (20), dos sensores distintos (21, 22) o dos porciones de sensor, colocados en un plano o dos planos de imagen, recibiendo, cada uno, uno de los dos haces distintos aguas abajo, recibiendo el primer sensor o la primera porción de sensor un primer haz de radiación en la primera banda espectral y el segundo sensor y recibiendo el segundo sensor o la segunda porción de sensor un segundo haz de radiación en la segunda banda espectral;

45 - estando conformadas el primer y segundo haz aguas arriba o aguas abajo del separador (20) por un objetivo (23) que forma por conjugación óptica en cada plano de la imagen, una imagen óptica (K1, K2) del recipiente en la primera banda espectral y la segunda banda espectral respectivamente;

- siendo filtrado el primer y/o el segundo haz por uno o los filtros ópticos (25, 26) seleccionando respectivamente la primera banda espectral y la segunda banda espectral.

12. Instalación según la reivindicación 10, caracterizada por que cada cámara infrarroja biespectral comprende:

- un objetivo (23) que forma por conjugación óptica en un plano sensor, una imagen óptica (K3) de un campo atravesado por un recipiente;

55 - dos porciones lineales de sensor distintas (41, 42), con sus líneas de apoyo (s_1 , s_2) verticales y dispuestas de manera que durante el movimiento de un recipiente en el campo de un objetivo (23), se realice una imagen por escaneo con cada una de las dos porciones lineales de sensor;

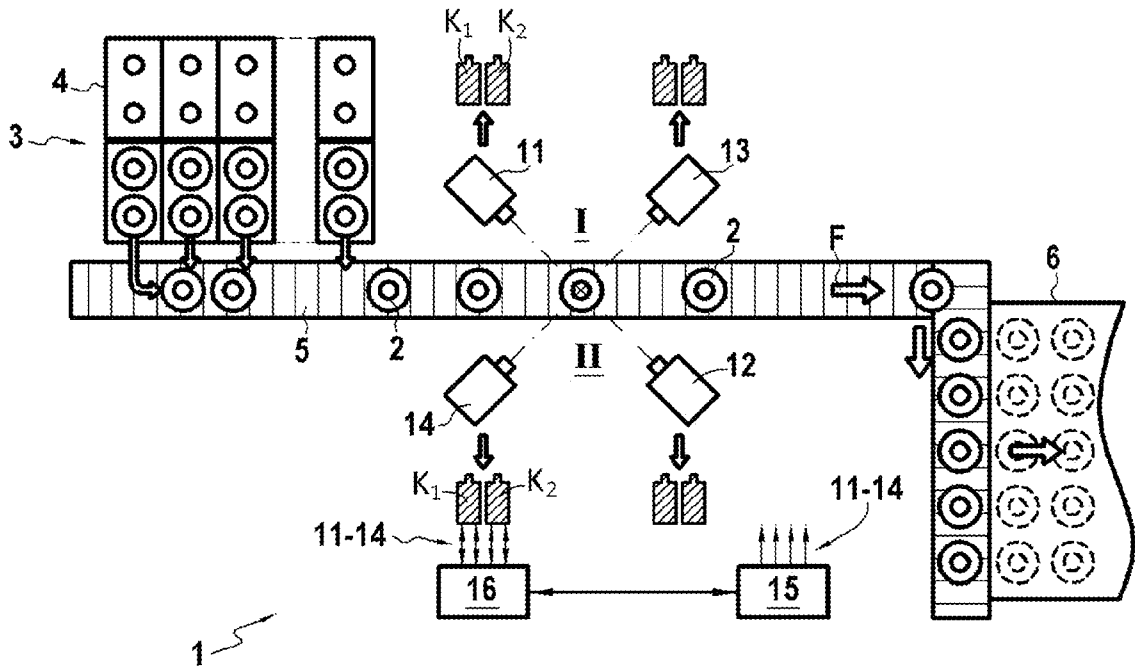
- recibiendo la primera porción lineal de sensor (41) una primera porción de haz de radiación (31) en la primera banda espectral;

60 - recibiendo la segunda porción de sensor (42) una segunda porción de haz de radiación (32) en la segunda banda espectral;

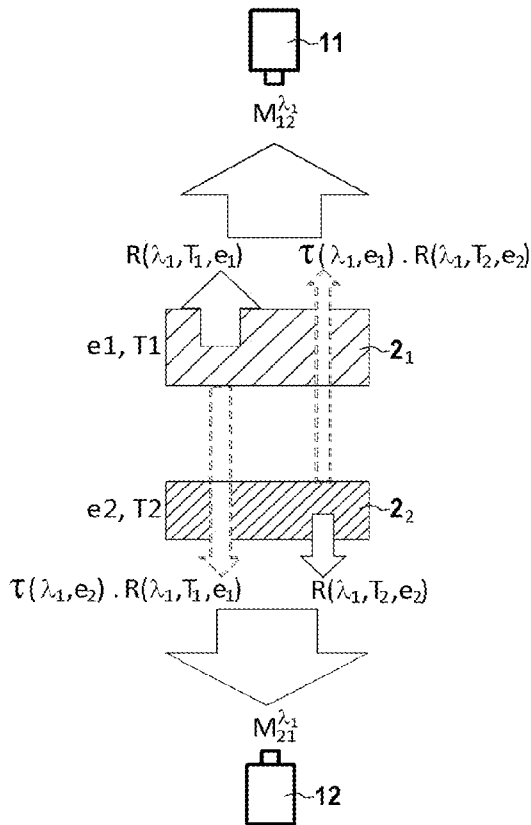
- al menos un filtro óptico (45) dispuesto en el trayecto de los haces luminosos para seleccionar la primera banda espectral y la segunda banda espectral.

13. Instalación según una de las reivindicaciones 11 o 12, caracterizada por que uno o los filtros ópticos (25, 26, 45) seleccionan la primera banda espectral en un rango comprendido entre 2.800 nm y 4.000 nm y la segunda banda espectral en un rango superior a 4.500 nm y, preferentemente, superior a 5.000 nm.

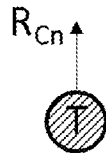
[Fig. 1]



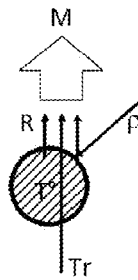
[Fig. 2]



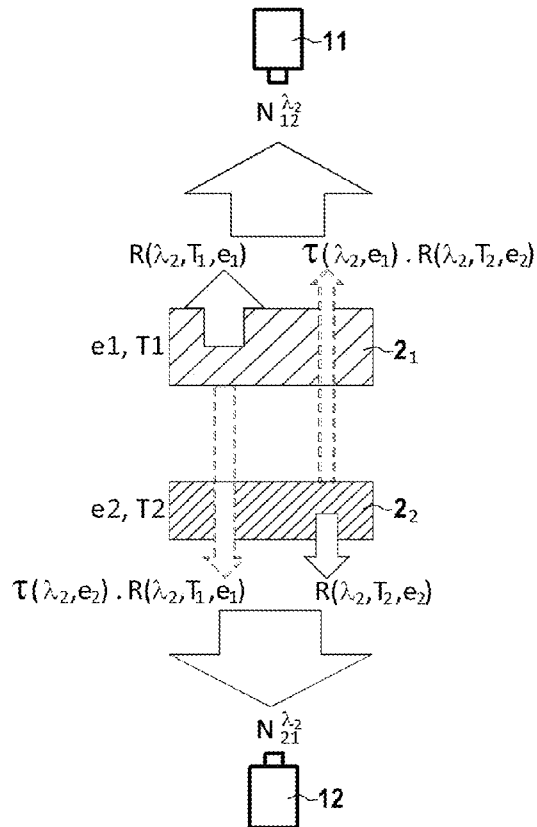
[Fig. 3]



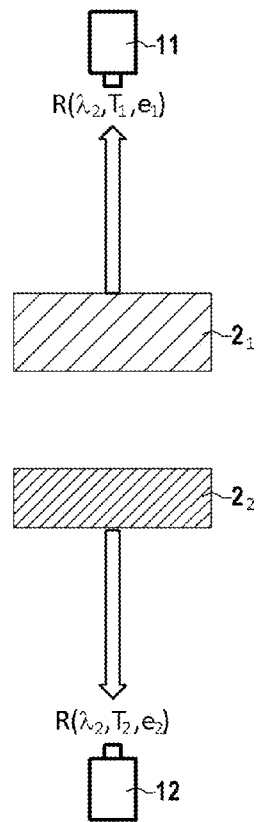
[Fig. 4]



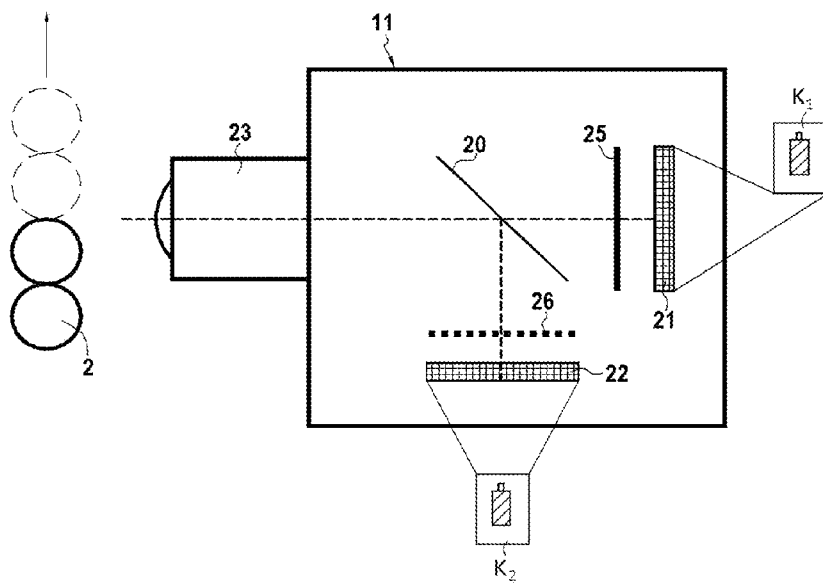
[Fig. 5]



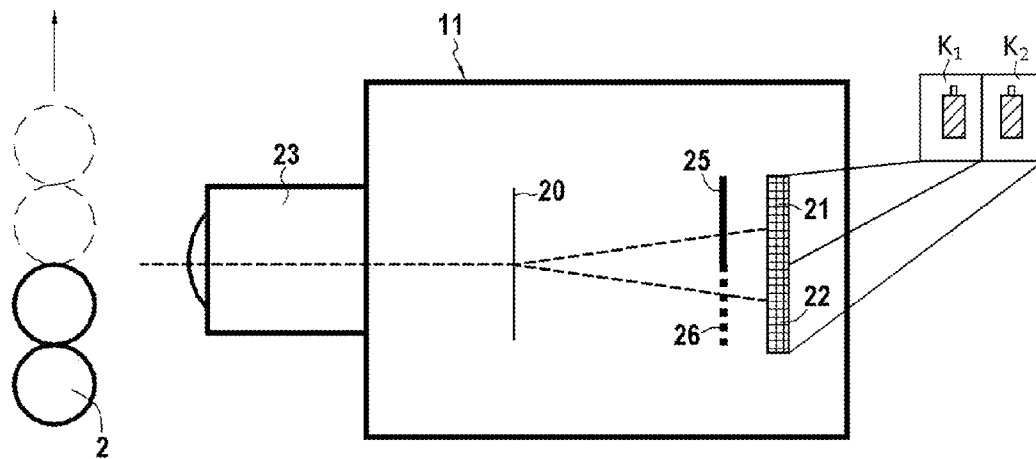
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]

