

5 **MÉTODO MEJORADO PARA FABRICAR VIDRIO PLANO MEDIANTE**

FLOTACIÓN

La presente invención se refiere a un procedimiento para fabricar vidrio plano mediante flotación de una cinta de vidrio sobre un baño de metal fundido.

10 Se conoce desde hace mucho tiempo la fabricación de vidrio plano mediante flotación de una cinta de vidrio sobre un baño de metal fundido, en general estaño. Este procedimiento ha permitido que la planarización del vidrio que se obtiene que esté significativamente mejorada. No obstante, este procedimiento deja detrás de la planarización defectos en una escala de longitud

15 de onda más pequeña entre 1 mm y 100 mm, en particular, toma la forma de defectos de ondulación o defectos dióptricos en la lámina de vidrio. Los defectos de ondulación en la lámina de vidrio se caracterizan por los perfiles de los defectos en la planarización de las dos caras de la lámina de vidrio, las cuales son paralelas y, por lo tanto no provocan variaciones de espesor en la escala de

20 la longitud de onda de estos defectos, contrariamente a los defectos dióptricos en la lámina de vidrio los perfiles de los defectos de planarización son simétricos con respecto al plano medio de la lámina de vidrio y provocan variaciones de espesor sobre la escala de la longitud de onda de los defectos. Estos defectos de planarización hacen difícil el cumplimiento de los requisitos diarios actuales

25 cada vez más estrictos con respecto a la calidad óptica de la lámina de vidrio, no solo con relación a los defectos dióptricos, sino además con respecto a los productos finales tales como los vidriados laminados de los vehículos de motor, los cuales son penalizados tanto por el tipo de defecto como, y más en particular, por los defectos de ondulación en las dos láminas de vidrio que componen el

5 producto final. De este modo, con respecto a los vidriados de los vehículos de motor, la tendencia es limitar la velocidad a la cual la cinta de vidrio es arrastrada sobre el baño de metal fundido para obtener la calidad óptica deseada. En otros dominios como por ej., los de las pantallas de cristal líquido, o incluso las pantallas de los teléfonos smart, se prefiere utilizar otros procedimientos para
10 fabricar el vidrio a fin de obtener un nivel aún más alto de calidad óptica, a pesar de la productividad más baja de estos procedimientos.

El objetivo de la presente invención es mejorar el procedimiento para fabricar vidrio plano mediante flotación sobre un baño de metal fundido.

Más en particular, en comparación con la técnica anterior, un objetivo de
15 la invención es hacer posible la fabricación mediante el uso de un procedimiento de flotación del vidrio plano que tiene una mejor calidad óptica a la vez que arrastra la cinta de vidrio a la misma velocidad sobre el baño de metal fundido.

En otras palabras, un objetivo de la invención es, en comparación con la técnica anterior, hacer posible la fabricación mediante el uso de un procedimiento
20 de flotación del vidrio plano que tiene la misma calidad óptica, pero que a la vez permite que aumente la velocidad a la cual la cinta de vidrio es arrastrada sobre el baño de metal fundido.

A este fin, la presente invención propone un procedimiento para la fabricación de vidrio plano mediante la flotación de una cinta de vidrio sobre un
25 baño de metal fundido, preferiblemente estaño fundido, en el cual la cinta de vidrio es arrastrada en una dirección de movimiento longitudinal desde un lateral corriente arriba del baño donde el vidrio fundido es vertido, de manera continua, sobre el metal fundido hacia un lateral corriente abajo del baño donde la cinta de vidrio establecida abandona el baño, el proceso comprende:

5 - someter el metal fundido a un campo magnético que tiene un componente vertical y que se desliza en la dirección del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio, dicho campo magnético se aplica a todo o parte del metal fundido que se localiza debajo de la cinta de vidrio en una zona del baño, por lo que el vidrio satisface la siguiente relación:

10 $10^{-3.5} \text{ Pa.m}^3.\text{s} < \mu.h^3 < 10^{-2} \text{ Pa.m}^3.\text{s}$

con: - μ : la viscosidad del vidrio, y

- h: el espesor de la cinta de vidrio.

La invención se basa en la observación que hacen los inventores sobre que existe turbulencia en el baño de metal fundido inmediatamente debajo de la cinta de vidrio y que, en la zona antes mencionada del baño metálico, esta turbulencia impregna la superficie de la cinta de vidrio, creando, de este modo, defectos que toman la forma de ondulaciones en la lámina de vidrio que permanecen en la lámina de vidrio que se obtiene. Si bien por definición los defectos de ondulación no provocan variaciones en el espesor de la lámina de vidrio, y por lo tanto, no provocan defectos ópticos en la transmisión a través de la lámina de vidrio, ellos contribuyen, en gran parte, a la degradación de la planarización de las dos superficies de la lámina de vidrio, de particular importancia para las aplicaciones electrónicas como por ej., los teléfonos smart, y de la calidad óptica de los productos finales como por ej., los vidriados laminados de los vehículos de motor, en los cuales los defectos de ondulación de las dos láminas de vidrio contribuirán a degradar la calidad óptica en la transmisión del producto final. Sin quedar atados a la teoría, parece que esta turbulencia en el metal fundido en esta zona crítica del baño se refiere a las variaciones de presión que dan lugar a la convección forzada de la cinta de vidrio, y a las fuerzas cortantes a las cuales está sometido el metal fundido debajo de

20

25

30

5 la cinta de vidrio a causa de la tracción que se ejerce sobre la cinta de vidrio para
arrastrarla sobre el metal fundido. Por el contrario, fuera de esta zona crítica,
esta turbulencia en el baño de metal fundido es menos perjudicial porque,
corriente arriba de la zona crítica, la viscosidad de la cinta de vidrio es demasiado
baja (con relación a la temperatura más alta de la cinta de vidrio) para que las
10 ondulaciones queden en una forma apreciable sobre la superficie del vidrio,
mientras que, corriente abajo de la zona crítica, la cinta de vidrio tiene una
viscosidad más alta (con relación a la temperatura de la cinta de vidrio, la cual
ha disminuido), y está lo suficientemente establecida en la misma para evitar que
la turbulencia en el metal fundido pueda impregnar la superficie del vidrio.

15 En la práctica, la posición de la zona crítica depende de una pluralidad de
parámetros, en particular de la composición del vidrio, de las condiciones en las
que se forma el vidrio y del espesor del vidrio fabricado. Sin embargo, es posible
delinear esta zona crítica al hacer uso de la cantidad $\mu \cdot h^3$, la cual está
directamente relacionada con el tiempo de deformación característico del vidrio
20 en respuesta a una fuerza mecánica. La susceptibilidad del vidrio permite que se
deforme bajo el efecto de una carga, concretamente, en el presente caso, las
fuerzas mecánicas que se colocan sobre el vidrio por parte del metal fundido a
causa de que se cuantifican las variaciones de la presión local en el baño
metálico en la interfaz de vidrio/metal, también llamada normalmente fuerza de
25 presión.

Por lo tanto, la invención propone disminuir, o incluso evitar la turbulencia
en el metal fundido en la interfaz con la cinta de vidrio al someter el metal fundido
debajo de la cinta de vidrio en esta zona crítica, o al menos, una parte del mismo,
a un campo magnético deslizable como el que se definió anteriormente. El
30 campo magnético deslizable inducirá las corrientes eléctricas en el metal fundido,

5 dichas corrientes se someten al campo magnético deslizable, este tiene el efecto de crear las fuerzas de Lorentz que se ejercen sobre el volumen del metal fundido. Estas fuerzas de Lorentz actúan sobre el metal fundido en la dirección en la cual el campo magnético se desliza, esta dirección de deslizamiento se elige idéntica a la dirección del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio. De
10 este modo, el corte en la interfaz entre la cinta de vidrio y el metal fundido en la zona de aplicación del campo magnético puede ser reducido, o incluso se puede prevenir. Por lo tanto, las variaciones de la presión en esta interfaz que surgen de este corte también se reducen o se evitan, esto limita, o incluso evita, la impresión de ondulaciones dentro de la cinta de vidrio en la zona crítica. Se
15 entenderá que el campo magnético se elige de manera ventajosa, en particular, con respecto a su resistencia y a la velocidad en la cual se desliza en la dirección del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio, para disminuir o prevenir la turbulencia en el metal fundido en la interfaz con la cinta de vidrio en la zona de aplicación del campo magnético.

20 Se observará que en el campo de la fabricación del vidrio flotante, se conoce de la técnica anterior que se aplican campos magnéticos al metal fundido del baño sobre el cual se mueve la cinta de vidrio. Este es el caso, por ejemplo, en el documento EP 304 844 A2, que busca una solución que permita que el baño de metal fundido se acorte para limitar la pérdida de calor a pesar de que,
25 por otro lado, el acortamiento del baño metálico tiene la desventaja de generar fuertes corrientes de convección naturales en el baño metálico, y, por otro lado, el hecho de colocar una barrera en el baño metálico a fin de separar el baño en una región corriente arriba y una región corriente abajo también provoca un gradiente térmico axial muy alto, y por lo tanto, corrientes de convección
30 naturales en espiral fuertes en la barrera, lo que genera distorsiones en el vidrio

5 fabricado que toma la forma de picos y valles con forma de tira. A este fin, este documento enseña la aplicación, no de un campo magnético deslizable, sino de un campo magnético que se genera por una corriente CC o un imán permanente que es capaz de evitar, de manera local, el movimiento del baño del metal fundido, creando, de este modo, una barrera de metal fundido petrificado, de modo que la transferencia de calor tenga lugar por conducción y radiación, y, por lo tanto, sin cambio local en la temperatura, esto evita que se formen las distorsiones antes mencionadas en la cinta de vidrio. Además, este documento enseña la aplicación, en una zona corriente arriba en la cual el vidrio tiene una viscosidad que todavía es muy baja, de un campo magnético que se desliza en la dirección corriente abajo del baño de metal fundido para modificar el espesor del baño de metal fundido para hacerlo más grande corriente abajo que corriente arriba, y, de este modo, controlar el espesor de la cinta de vidrio que se fabrica. Además, este documento enseña la aplicación, en el extremo corriente abajo del baño de metal fundido, de un campo magnético que se desliza en la dirección corriente arriba del baño para conducir el metal fundido corriente arriba y, de este modo, evitar que el metal fundido se desparrame sobre la salida del baño, el cual está más bajo que la superficie del baño.

El documento US 2010/206009 A1 describe, además, el uso de un motor lineal en la salida del baño para presionar y mover el metal fundido corriente arriba mediante la aplicación al metal fundido de un campo magnético que se mueve.

El documento DE 10 2007 014 806 A1 enseña la aplicación de un campo magnético variable al metal fundido del baño a fin de fabricar el vidrio flotante mediante el uso de un cilindro, un disco o una cinta sin fin sobre el cual se colocan en permanente alternancia imanes que tienen polos contrarios. El

5 dispositivo es accionado para moverse con relación al baño a fin de crear el
campo magnético variable y al hacerlo, influir en el baño metálico para que se
disperse y forme la cinta de vidrio sobre el lateral corriente arriba del baño, o
incluso para influir en las características ópticas del vidrio, y más en particular,
en las variaciones en el espesor de la cinta de vidrio, es decir, los defectos
10 dióptricos que se mencionaron anteriormente.

Ninguno de estos documentos se refiere o menciona los problemas que
se crearon por la convección forzada en el baño del metal fundido, es decir, la
convección forzada con relación a la cinta de vidrio que es arrastrada, y las
variaciones de presión que dicha convección forzada genera en el metal fundido
15 debajo de la cinta de vidrio, o las fuerzas cortantes a las cuales se somete el
metal fundido debajo de la cinta de vidrio, o más en general, al problema de las
ondulaciones en el vidrio que degradan su calidad óptica, incluso en el caso
donde el espesor del vidrio permanece constante. Más aún, estos documentos
no enseñan el uso de un campo magnético que se deslice en la dirección del
20 movimiento longitudinal de la cinta de vidrio a fin de disminuir, o incluso evitar, la
turbulencia, en particular, la turbulencia originada por el vidrio que es arrastrado,
en el metal fundido en la interfaz con la cinta de vidrio, o aplicarla, en la zona
crítica antes mencionada, a los fines de mejorar las cualidades ópticas del vidrio
que se fabrica. Además, el dispositivo del documento DE 10 2007 014 806 A1
25 no permitiría que se genere un campo magnético de suficiente resistencia, o en
efecto un campo que se mueva con una velocidad suficiente para obtener el
efecto que se busca en el contexto de la presente solicitud de patente.

De acuerdo con las realizaciones preferidas, la invención comprende una
o más de las siguientes características:

- 5 - el campo magnético se elige para disminuir o prevenir la turbulencia en el metal fundido en la interfaz con la cinta de vidrio en la zona de aplicación del campo magnético;
- 10 - el campo magnético se elige de modo que, al menos, para una parte del espesor del metal fundido, dicha parte se localiza inmediatamente debajo de la cinta de vidrio en la zona de aplicación del campo magnético, el metal fundido es arrastrado en la dirección longitudinal del movimiento de la cinta de vidrio a la misma velocidad que la cinta de vidrio;
- 15 - dicha parte del espesor del metal fundido que se ubica inmediatamente debajo de la cinta de vidrio en la zona de aplicación del campo magnético corresponde a, al menos, 5 %, más preferiblemente a, al menos, 15 %, incluso más preferiblemente a, al menos 25 %, incluso más preferiblemente a, al menos 33 %, incluso más preferiblemente a, al menos 50 %, incluso más preferiblemente a, al menos 66 %, e incluso más ventajosamente a, al menos 75 % del espesor total de metal fundido
- 20 debajo de la cinta de vidrio en la zona de aplicación del campo magnético;
- 25 - someter el metal fundido a dicho campo magnético sobre al menos 15 %, más preferiblemente sobre al menos 25 %, incluso más preferiblemente sobre al menos 33 %, incluso más preferiblemente sobre al menos 50 %, incluso más preferiblemente sobre al menos 75 % e incluso más ventajosamente sobre 100 % de la extensión de dicha zona del baño, que se mide en la dirección del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio;
- 30 - someter el metal fundido a dicho campo magnético sobre al menos todo el ancho de la cinta de vidrio sin someter a esto el metal fundido en una

- 5 región contigua al borde lateral del baño sobre cada lateral de la cinta de vidrio;
- hacer que el campo magnético se deslice en la dirección del movimiento longitudinal con una velocidad de deslizamiento que sea sustancialmente igual a la velocidad del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio;
- 10 - en el caso precedente, además elegir la resistencia del campo magnético para arrastrar el metal fundido en la dirección del movimiento longitudinal a la velocidad del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio con respecto, al menos, 5 %, más preferiblemente con respecto, al menos, 15 %, incluso más preferiblemente con respecto, al menos 25 %, incluso más
- 15 preferiblemente con respecto, al menos 33 %, incluso más preferiblemente con respecto, al menos 50 %, incluso más preferiblemente con respecto, al menos 66 %, e incluso más preferiblemente con respecto, al menos 75 % del espesor del metal fundido que está ubicado inmediatamente debajo de la cinta de vidrio en
- 20 la zona de aplicación del campo magnético;
- acelerar el enfriamiento de la cinta de vidrio en la zona de aplicación del campo magnético;
 - hacer que el campo magnético se deslice en la dirección del movimiento longitudinal con una velocidad de deslizamiento sustancialmente más alta
- 25 que la velocidad del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio, preferiblemente la velocidad de deslizamiento se elige para que sea al menos 5 veces más alta, más preferiblemente al menos 10 veces más alta, más preferiblemente al menos 50 veces más alta que la velocidad del movimiento longitudinal (V) de la cinta de vidrio (8);

- 5 - en el último caso, además elegir la velocidad a la cual el campo magnético se desliza en la dirección del movimiento longitudinal y la resistencia del campo magnético de modo que, en la zona de aplicación del campo magnético, el metal fundido se mueva en la dirección del movimiento longitudinal sustancialmente a la velocidad del movimiento longitudinal de
- 10 la cinta de vidrio con respecto al menos 5 % del espesor del metal fundido que está ubicado inmediatamente debajo de la cinta de vidrio;
- elegir la velocidad de deslizamiento del campo magnético en la dirección del movimiento longitudinal y la resistencia del campo magnético de modo que, en la zona de aplicación del campo magnético, el metal fundido se
- 15 mueva en la dirección del movimiento longitudinal a una velocidad inferior o igual a la velocidad del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio con respecto a toda la profundidad del baño de metal fundido;
- establecer la frecuencia del campo magnético de modo que la profundidad de penetración magnética sea, al menos, igual a, al menos 5 %, más
- 20 preferiblemente a, al menos, 15 %, incluso más preferiblemente a, al menos 25 %, incluso más preferiblemente a, al menos 33 %, incluso más preferiblemente a, al menos 50 %, incluso más preferiblemente a, al menos 50 %, e incluso más ventajosamente a, al menos 75 % de la profundidad del baño de metal fundido en la zona de aplicación del campo
- 25 magnético, mientras que preferiblemente tomando en cuenta asegurar de que sea inferior o igual al 200 % y más preferiblemente inferior o igual al 120 %, o incluso más preferiblemente inferior o igual al 100 %;
- mantener la velocidad de deslizamiento del campo magnético en la dirección del movimiento longitudinal constante durante el paso de
- 30 someter el metal fundido al campo magnético;

- 5 - mantener el valor RMS de la resistencia del campo magnético constante durante el paso de someter el metal fundido al campo magnético;
- generar el campo magnético por medio de un dispositivo electromagnético;
- colocar el dispositivo electromagnético por encima del baño del metal fundido durante el paso de someter el metal fundido al campo magnético;
- 10 - sostener el dispositivo electromagnético en una posición fija con respecto al baño del metal fundido durante el paso de someter el metal fundido al campo magnético;
- el dispositivo electromagnético comprende uno o más motores lineales que están sostenidos en una posición fija con respecto al baño del metal fundido durante el paso de someter el metal fundido al campo magnético;
- 15 - generar el campo magnético por medio de un dispositivo electromagnético que comprende un motor lineal o una pluralidad de motores lineales que están colocados lado a lado en la dirección del movimiento longitudinal y/o perpendicular a este último para obtener un placado de la zona del baño a ser sometido al campo magnético, los motores lineales están sincronizados para comportarse como un único motor lineal.
- 20

La invención es particularmente adecuada para la fabricación de vidrio plano de espesor más pequeño o igual a 3 mm porque es con dicho vidrio que la turbulencia en la superficie del metal fundido tiene la mayor tendencia a imprimir definitivamente las ondulaciones dentro de la superficie del vidrio. No obstante, es preferible que el vidrio plano que se fabrica tenga un espesor de al menos 0,5 mm. Además, la invención es, más particularmente, adecuada para la fabricación industrial del vidrio plano con una velocidad del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio sobre el baño de metal fundido que es superior o igual a 10 m/min.

25

30

5 Sin embargo, es preferible que esta velocidad sea inferior o igual a 30 m/min.
Más en general, además esta velocidad se puede implementar en el contexto de
una organización de fabricación particular en la cual se utiliza una velocidad
inferior del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio sobre el baño del metal
fundido. De este modo, el procedimiento de la invención también se puede
10 utilizar con velocidades que empiezan de 1 m/min, por ejemplo. Además, en la
zona de aplicación del campo magnético, la profundidad del baño del metal
fundido puede ser, según la aplicación, muy diferente y estar comprendido, por
ejemplo, en el intervalo que se extiende desde 5 mm hasta 500 mm, pero está
preferiblemente comprendido en el intervalo desde 10 mm hasta 200 mm, y más
15 preferiblemente desde 50 mm hasta 100 mm.

Más en general, en un procedimiento para fabricar el vidrio plano
mediante la flotación de una cinta de vidrio sobre un baño de metal fundido,
preferiblemente estaño fundido, en el cual la cinta de vidrio es arrastrada en una
dirección de movimiento longitudinal desde un lateral corriente arriba del baño
20 donde el vidrio fundido es vertido, de manera continua, sobre el metal fundido
hacia un lateral corriente abajo del baño donde la cinta de vidrio establecida
abandona el baño; la invención propone el uso de un campo magnético que se
desliza en la dirección del movimiento longitudinal de la cinta de vidrio para
disminuir o prevenir la turbulencia en el metal fundido en la interfaz con la cinta
25 de vidrio en la zona de aplicación del campo magnético o incluso para disminuir
o prevenir los defectos de ondulación en el vidrio que se obtiene.

Otras características y ventajas de la invención serán evidentes al leer la
siguiente descripción de una realización preferida de la invención, cuya
descripción se da por medio de un ejemplo y con referencia a los dibujos que se
30 adjuntan.

5 La figura 1 es una representación esquemática de una instalación para fabricar el vidrio plano mediante el uso del procedimiento de flotación, el cual está destinado a implementar un procedimiento de acuerdo con una realización preferida de la invención.

10 La figura 2 es una representación esquemática de una vista en corte transversal entre las flechas A-A a través de la instalación que se muestra en la figura 1.

 La figura 3 es una representación esquemática alargada de la zona D que se identifica en la figura 2.

15 Las figuras 4 y 5 ilustran, de manera esquemática, la variación en la distribución de la velocidad del movimiento del metal fundido debajo de la cinta de vidrio para otra implementación respectiva del procedimiento de acuerdo con la invención.

 Como puede verse en la figura 1, la instalación comprende un tanque 1 que está equipado con paredes laterales 2 y paredes extremas 3 y 4, respectivamente en la entrada y en la salida del tanque 1. El tanque 1 contiene un baño de estaño fundido, o de cualquier otro metal fundido, numeral de referencia 7. El vidrio fundido es vertido sobre el baño de metal fundido 7 en su entrada, desde un canal de distribución 6 que finaliza en un labio de colada y que está colocado por encima de la pared de entrada 3 del tanque 1. La cinta de vidrio 8 que se forma sobre el baño de metal fundido 7 es arrastrada, de manera continua, a una velocidad constante en una dirección longitudinal del movimiento L desde la entrada del tanque, es decir, el lateral corriente arriba del baño, hacia su salida, es decir, el lateral corriente abajo del baño, por los rodillos extractores 9 que están colocados sobre el exterior del tanque 1 sobre el lateral corriente
30 abajo.

5 Del punto de vista del vidrio, el baño 7 define una pluralidad de zonas sucesivas en la dirección longitudinal del movimiento L de la cinta de vidrio 8. Después de haber sido vertido sobre el baño del metal fundido 7, el vidrio se dispersa libremente, en la medida de lo posible, sobre el baño en una primera zona I. De este modo, se forma una cinta de vidrio 8 que se mueve corriente
10 abajo bajo el efecto de la tracción de los rodillos extractores 9.

Posteriormente, en una segunda zona II, la cinta de vidrio en formación está sujeta a fuerzas longitudinales que están dirigidas hacia el exterior bajo la acción combinada de los rodillos extractores 9 y de los rodillos 11 con bordes moleteados. Los rodillos 11 con bordes moleteados se fabrican, en general, de
15 acero y levemente oblicuos con respecto a la dirección del movimiento longitudinal L de la cinta de vidrio 8. Estos rodillos son accionados por motores 16 en general a velocidades que difieren según su posición, y que aumentan en la dirección corriente abajo. En esta segunda zona II, empieza el ensanchamiento del vidrio y se rebaja esta última. En una tercera zona III, la
20 cinta de vidrio toma su forma definitiva bajo la acción de los rodillos extractores 9 arrastrándola en la dirección de la salida del baño.

La segunda zona II y la tercera zona III juntas forman la zona de ensanchamiento, la cual es seguida por una cuarta zona IV, que se denomina la zona de consolidación, en la cual la cinta de vidrio establecida se enfría de
25 manera gradual.

Además, la instalación comprende un dispositivo electromagnético 10 que está colocado por encima de la cinta de vidrio 8. Está colocado por encima de la zona crítica Z del baño, en cuya zona el vidrio de la cinta satisface la relación:

$$10^{-3.5} \text{ Pa.m}^3.\text{s} < \mu h^3 < 10^{-2} \text{ Pa.m}^3.\text{s}$$

30 con: - μ : la viscosidad del vidrio que se expresa en Pa.s, y

5 - h: el espesor de la cinta de vidrio en la ubicación en cuestión, que se expresa en metros.

Por medio del ejemplo, en el caso de un vidrio que tiene un espesor de 2,1 mm, la zona crítica corresponde a una viscosidad que está comprendida entre 10^4Pa.s y 10^6Pa.s , esto corresponde, cuando es una cuestión de vidrio
10 sódico-cálcico, a una temperatura del vidrio que está comprendida entre 750°C y 900°C .

En la práctica, el segmento longitudinal del baño de metal fundido 7 que corresponde a la zona crítica Z, posiblemente, será identificado, de manera indirecta, en virtud de las temperaturas correspondientes del metal fundido 7.
15 Específicamente, en este rango de viscosidades, la relación entre la viscosidad y la temperatura sigue la ley Vogel-Fulcher-Tammann (VFT), los coeficientes de los cuales, posiblemente, se ajustarán mediante dos o más mediciones de las viscosidades del vidrio en cuestión que se distribuyen sobre el rango de viscosidad en cuestión, se hace uso de un método de elongación de la fibra (tal
20 como el que se define en la norma ISO 7884-6:1987) para encontrar la temperatura Littleton y de un viscosímetro Couette para las viscosidades inferiores.

Se proporciona el dispositivo electromagnético 10 para generar un campo magnético B que tiene un componente vertical en la zona crítica Z del baño de
25 metal fundido 7. El dispositivo electromagnético 10 está dispuesto, preferiblemente, de modo que las líneas de campo del campo magnético B están contenidas en planos verticales paralelos a la dirección del movimiento L. El campo B, que está simbolizado en la figura 3, se desliza en una dirección G que corresponde a la dirección del movimiento longitudinal L de la cinta de vidrio 8,
30 de modo que las fuerzas de volumen de Lorentz que se generaron por el campo

5 magnético actúan sobre el metal fundido 7 en la misma dirección. No obstante, se prefiere que la resistencia del campo B sea limitada de modo que las fuerzas de volumen de Lorentz no arrastren el metal fundido 7 debajo de la cinta de vidrio 8 en la dirección del movimiento L a una velocidad superior a la de la cinta de vidrio 8. El campo B se aplica, preferiblemente de forma continua, en la zona crítica Z del baño mientras la cinta de vidrio 8 es arrastrada, de manera continua, sobre el baño de metal fundido 7 por los rodillos extractores 9.

El dispositivo electromagnético 10 puede ser implementado en la forma de un motor lineal, por ejemplo, un motor lineal de tres fases. Como variante, puede ser implementado por medio de una pluralidad de motores lineales que se colocan lado a lado en la dirección del movimiento longitudinal L y/o perpendicular al último para obtener un placado de la zona del baño a ser sometido al campo B. En este caso, los motores lineales están sincronizados para comportarse como un motor lineal único, y por lo tanto, en particular, para evitar una rotura en el deslizamiento del campo magnético B.

20 El dispositivo electromagnético 10, en particular en el caso donde está implementado mediante uno o más motores lineales, está sostenido, preferiblemente, mediante un pórtico. Es ventajoso que este pórtico sea movable con respecto al baño de metal fundido 7 en la dirección del movimiento longitudinal L, esto permite que el dispositivo electromagnético sea colocado a nivel con la zona crítica Z, cuya ubicación en esta dirección puede cambiar, por ejemplo, si se elige producir un vidrio de diferente espesor. Por el contrario, durante la fabricación de un vidrio dado, el dispositivo electromagnético 10, en particular si es implementado mediante uno o más motores lineales, se mantiene preferiblemente en una posición fija con respecto al baño de metal fundido 7,

5 esto evita perturbar la aplicación del campo B que se desliza con relación al baño
de metal fundido 7.

Es preferible que el metal fundido sea sometido al campo B sobre todo el
ancho de la cinta de vidrio 8 a fin de que el metal fundido 7 sea sometido a las
fuerzas de volumen de Lorentz bajo todo el ancho de la cinta de vidrio 8. De
10 manera similar, es preferible que el campo B sea sustancialmente uniforme en
la dirección lateral, es decir, la dirección perpendicular a la dirección del
movimiento longitudinal L, en otras palabras para que el campo B tenga la misma
resistencia en cada punto del metal fundido a una profundidad dada que está
contenida en una sección dada del baño de metal fundido 7 perpendicular a la
15 dirección del movimiento L. De este modo, las fuerzas de volumen de Lorentz
que se ejercen sobre el metal fundido 7 son idénticas en cada punto a una
profundidad dada de una sección del baño de metal fundido 7. Estas medidas
contribuyen a prevenir la creación de turbulencia en el flujo del metal fundido 7.

Además, es preferible que el campo B no sea aplicado en la dirección
20 lateral sobre todo el ancho del baño de metal fundido 7, pero que se detenga a
un nivel lateral que es intermedio entre la cinta de vidrio 8 y las paredes 2 del
tanque 1. De este modo, las líneas de corrientes eléctricas inducidas por el
campo B en el metal fundido 7, dichas líneas son perpendiculares a la dirección
del movimiento longitudinal L debajo de la cinta de vidrio 8, pueden enlazarse de
25 manera horizontal en la región lateral del baño de metal fundido 7 que está
comprendida entre la cinta de vidrio 8 y las paredes 2 del tanque 1. Esta medida
limita, de manera favorable, el riesgo de generar turbulencia perjudicial a causa
de las fuerzas de Lorentz en el metal fundido 7 en zonas laterales de la cinta de
vidrio 8, en comparación con el caso donde las líneas de corrientes se enlazan
30 de manera vertical en la región lateral del baño de metal fundido 7, como lo

5 harían si el campo B que se extiende sobre todo el ancho del baño de metal fundido 7, es decir, justo arriba hacia las paredes 2.

La aplicación del campo B al lote de metal fundido 7 en toda o parte de la longitud de la zona crítica Z procura una mejora en la calidad óptica del vidrio que se obtiene para una cinta de vidrio 8 que es arrastrada a una velocidad dada
10 o, como variante, permite en cierto grado que la velocidad a la cual la cinta de vidrio 8 es arrastrada aumente sin deteriorar la calidad óptica del vidrio que se obtiene. Cuanto más grande la parte de la longitud de la zona crítica Z en la cual el metal fundido 7 está sometido al campo B, más grande la mejora en términos de calidad óptica del vidrio y/o de la velocidad a la cual la cinta de vidrio 8 puede
15 ser arrastrada. A partir de este punto de vista, es preferible que el campo B sea aplicado al metal fundido 7 sobre al menos 15 %, más preferiblemente sobre al menos 25 %, incluso más preferiblemente sobre al menos 33 %, o incluso al menos 50 %, e incluso más preferiblemente sobre al menos 75 % e incluso más ventajosamente sobre 100 % de la longitud de la zona crítica Z. En la práctica,
20 el segmento de extensión de la zona crítica Z a ser cubierto depende de la calidad óptica que se obtendrá para el vidrio. Específicamente, se ha observado que la impresión de los defectos ópticos en el vidrio ocurre en las subzonas de extensión más limitadas en el interior de la zona crítica Z que difieren según el tamaño de los defectos ópticos en cuestión. La ubicación de las subzonas como
25 una función del tamaño de los defectos ópticos puede estar determinada por la simulación numérica o de manera experimental, por ejemplo, comparando la calidad óptica del vidrio que se obtiene con y sin la aplicación de un campo B tal como se describe sobre una extensión limitada de la zona crítica Z.

Es preferible que la base 5 del tanque 1 sea plana, al menos en toda la
30 zona crítica Z, o incluso más preferiblemente, además, en toda la parte corriente

5 arriba del tanque 1, para evitar la creación de turbulencia en el metal fundido 7 en la zona crítica Z que los obstáculos en el tanque 1 crearían de otro modo.

Según una implementación particularmente ventajosa, el campo B está definido de modo que, debajo de la cinta de vidrio 8, en la zona de aplicación del campo B, el metal fundido 7 es arrastrado en la dirección del movimiento longitudinal L a la misma velocidad que la cinta de vidrio 8. De este modo, el corte del metal fundido 7 es casi inexistente en la interfaz del metal fundido 7 con la cinta de vidrio 8 dado que se mueven a la misma velocidad. Por lo tanto, se evita, sustancialmente, la turbulencia en el metal fundido en esta interfaz y, por lo tanto, además, se evitan los defectos relacionados que de otra manera se imprimirían en la superficie del vidrio como resultado de dicha turbulencia.

De manera óptima, es preferible que el metal fundido 7 sea arrastrado debajo de la cinta de vidrio 8 sobre toda la profundidad del baño para dejar atrás solo una capa del metal fundido 7 de espesor limitado, que se denomina capa Hartmann, en la interfaz con la base 5 del tanque y el flujo del cual es laminar. La figura 4 ilustra, de manera esquemática, esta situación con V que representa la velocidad del movimiento de la cinta de vidrio 8 en la dirección L y v_m que representa la velocidad del movimiento del metal fundido 7 en la dirección L como una función de la profundidad del baño.

A este fin, la velocidad V_B con la cual el campo B se desliza en la dirección del movimiento longitudinal L se establece igual a la velocidad V a la cual la cinta de vidrio 8 es arrastrada en la misma dirección, y el valor RMS del campo B se elige para que sea lo suficientemente alto de modo que las fuerzas de volumen de Lorentz sean suficientes para obtener el efecto antes mencionado con respecto al arrastre del metal fundido 7. En la práctica, es posible arrastrar únicamente el metal fundido 7 sobre una profundidad más pequeña mientras, no

5 obstante, se obtiene la mejora buscada en la calidad óptica. Sin embargo, es
ventajoso que las fuerzas de Lorentz sean suficientes para arrastrar, a la
velocidad a la cual la cinta de vidrio 8 es arrastrada en la dirección L, al menos,
5 %, más preferiblemente a, al menos, 15 %, incluso más preferiblemente a, al
menos 25 %, incluso más preferiblemente a, al menos 33 %, incluso más
10 preferiblemente a, al menos 50 %, incluso más preferiblemente a, al menos 60%,
e incluso más preferiblemente a, al menos 75 % del espesor total de metal
fundido 7 inmediatamente debajo de la cinta de vidrio 8 en la zona de aplicación
del campo B.

Para hacer esto, la frecuencia «f» del campo B, y por lo tanto, de la
15 corriente eléctrica de excitación del único o más motores lineales, se elige de
modo que el campo B se mueva a la velocidad del vidrio, dadas las dimensiones
del único o más motores lineales. En otras palabras, la frecuencia «f» se da por
la siguiente fórmula:

$$f = V_B \cdot p / L$$

20 con:

- f: la frecuencia del campo B,
- V_B : la velocidad a la cual el campo magnético se desliza, la cual, en esta
implementación, se define como que es igual a la velocidad V a la cual la
cinta de vidrio 8 es arrastrada en la dirección del movimiento longitudinal
- 25 L,
- p: el número total de pares de polos por fase del motor lineal, y
- L: la extensión del motor lineal que se mide en la dirección del movimiento
longitudinal L.

La fuerza de volumen de Lorentz se expresa de la siguiente manera en
30 este modo operativo en el cual la velocidad V_B a la cual el campo magnético se

5 desliza es del orden de la magnitud de la velocidad a la cual es arrastrado el vidrio:

$$f_L = \sigma B^2 (V_B - v_m)$$

con:

- V_B traslada la velocidad a la cual el campo B se desliza en la dirección L,
10 y
- V_m : la velocidad del movimiento del metal del baño en la dirección L.

En otras palabras, esta fuerza de volumen caracteriza una interacción que es magnetohidrodinámica ya que se relaciona con la velocidad del movimiento del metal. Por esta razón, este primer modo operativo se puede denominar el
15 modo operativo «magnetohidrodinámico» o modo operativo «MHD».

Con respecto a la resistencia del campo B, las simulaciones han hecho posible establecer que una velocidad V de la cinta de vidrio 8 de 14 m/min y una profundidad del baño de metal fundido 7 de 6,4 cm, un valor de campo RMS de 0,05 T es suficiente en el caso donde el metal fundido 7 es estaño.

20 Este valor del campo B puede ser extrapolado a otras profundidades de estaño y a otras velocidades de vidrio, y para el caso de otros metales que utilizan el siguiente parámetro de interacción:

$$N = \frac{\sigma B^2 h}{\rho V}$$

con:

- 25 - B: el módulo del campo magnético;
- σ : la conductividad del metal fundido;
- ρ : la densidad del metal fundido;
- V: la velocidad a la cual la cinta de vidrio 8 es arrastrada en la dirección del movimiento longitudinal L;

- 5 - h: la profundidad del baño del metal fundido en la zona de aplicación del campo B.

El parámetro de interacción N permite que los efectos de las fuerzas de Lorentz sobre el metal fundido 7 estén relacionados con los de la inercia del metal fundido 7. Si, de manera ideal, el parámetro de interacción N se puede
10 establecer igual a 1, las simulaciones numéricas han demostrado que es posible establecerlo, de manera satisfactoria, a un valor inferior. No obstante, es preferible que se establezca superior o igual a 0,1, más preferiblemente superior o igual a 0,33, incluso más preferiblemente superior o igual a 0,5, y más preferiblemente superior a 0,75.

15 Finalmente, en esta implementación, se puede hacer una provisión para aplicar enfriamiento forzado a la cinta de vidrio 8 en la zona de aplicación del campo B para acortar la zona crítica Z. Esto permite que la extensión del dispositivo electromagnético 10 disminuya. Esto se puede obtener por medio de un refrigerador, por ejemplo un refrigerador a base de agua o aceite, el cual se
20 interpone entre el dispositivo electromagnético 10 y la cinta de vidrio 8.

De acuerdo con otra implementación, la velocidad a la cual el campo B se desliza en la dirección L se elige, en particular, para que sea más alta que la velocidad a la cual la cinta de vidrio 8 es arrastrada en la misma dirección, concretamente, preferiblemente al menos 5 veces más alta, más preferiblemente
25 al menos 10 veces más alta, más preferiblemente al menos 50 veces más alta e incluso más preferiblemente al menos 100 veces más alta. Esta otra implementación es ventajosa en el caso donde es complicado obtener el dispositivo electromagnético 10 para lograr la frecuencia deseada para el campo B en la implementación que se describió anteriormente.

5 En este caso, si bien el flujo del metal fundido 7 en la interfaz con la cinta
de vidrio 8 permanece turbulento, las fluctuaciones en la presión en esta interfaz
pueden ser significativamente reducidas en virtud de las fuerzas de volumen de
Lorentz que actúan sobre el metal fundido 7 en la dirección del movimiento L de
la cinta de vidrio 8, y que, de este modo, limitan el corte del metal fundido 7 en
10 la interfaz con la cinta de vidrio 8.

Cuando la velocidad V_B a la cual el campo magnético se desliza está, al
menos, en un orden de magnitud más alto que la velocidad V a la cual el vidrio
es arrastrado, la fuerza de volumen de Lorentz que se ejerce sobre el metal
fundido 7 está entonces relacionada únicamente con la velocidad a la cual el
15 campo B se desliza en la dirección L, a su resistencia y a la conductividad del
metal fundido 7, mediante la fórmula:

$$F_B = \sigma B_e^2 V_B$$

con:

- F_B : la fuerza de volumen de Lorentz que se ejerce sobre el metal fundido,
- 20 - σ : la conductividad del metal fundido 7,
- B_e : el valor RMS del campo magnético B,
- V_B : la velocidad de deslizamiento del campo magnético.

En este caso, la expresión de la fuerza de volumen de Lorentz es
puramente inductora y no depende de la velocidad de flujo V_M del estaño. Por
25 esta razón, este modo operativo puede denominarse el modo operativo
«inductor» dado que es independiente de la velocidad de flujo del metal fundido.
El parámetro de interacción N se expresa de manera diferente al modo operativo
magnetohidrodinámico, concretamente de la siguiente manera:

$$N = \frac{\sigma B_e^2 V_B h}{\rho V^2}$$

5 Es ventajoso que las fuerzas de volumen de Lorentz que se ejerce sobre el metal fundido 7 sean suficientes, con respecto a una parte del espesor del metal fundido 7, dicha parte está localizada inmediatamente debajo de la cinta de vidrio 8, para que la velocidad del movimiento del metal fundido 7 en la dirección L sea sustancialmente igual a la velocidad en la cual la cinta de vidrio es arrastrada en la dirección L. La figura 5 ilustra, de manera esquemática, esta situación con V que representa la velocidad del movimiento de la cinta de vidrio 8 en la dirección L y V_M que representa la velocidad del movimiento del metal fundido 7 en la dirección L como una función de la profundidad del baño. Para lograr esto, se eligen la velocidad V_B del campo B y el valor RMS B_e de su resistencia para obtener una fuerza de volumen de Lorentz que sea suficiente para compensar la fuerza de fricción que se ejerce en la interfaz entre el metal fundido 7 y la base 5 del tanque 1. En otras palabras, la fuerza de volumen de Lorentz F_B se establece, preferible y sustancialmente igual a τ_w/h , siendo « τ_w » la fuerza de fricción que ejerce la base 5 sobre el metal fundido 7 y « h » la profundidad del baño de metal fundido 7 en la zona de aplicación del campo B.

En la práctica, para una velocidad de movimiento de la cinta de vidrio $V = 14$ m/min y una profundidad del baño de estaño de 6,4 cm en la zona de aplicación del campo B, las simulaciones numéricas revelan un efecto beneficioso para una fuerza F_B que está comprendida entre 5 N.m^{-3} y 10 N.m^{-3} . Si, de manera ideal, el parámetro de interacción N se puede elegir entre 0,001 y 0,002, las simulaciones numéricas han demostrado que se obtiene un efecto sobre la calidad óptica para un valor de N que está comprendido entre 0,0005 y 0,004.

Este valor puede ser extrapolado por los expertos en la técnica a otras velocidades de movimiento de la cinta de vidrio 8 y a otras profundidades del

5 baño de estaño, y además, a la luz de la literatura existente que proporciona valores tabulados de la fuerza de fricción τ_w para el flujo de Couette plano, el cual está cerca de la situación del baño de metal fundido 7, al caso de los metales fundidos además de estaño, según la velocidad de arrastre y el espesor del flujo.

Es preferible que la frecuencia del campo B se establezca a un valor que
10 sea lo suficientemente alto para que las pulsaciones de las fuerzas de Lorentz sean demasiado altas como para crear, en el baño del metal fundido 7, turbulencia responsable de imprimir la superficie de la cinta de vidrio 8.

Por el contrario, es preferible limitar el valor de la frecuencia del campo B para obtener una profundidad de penetración magnética adecuada. De manera
15 ideal, estará limitada de modo que la profundidad de penetración magnética sea al menos igual a la profundidad del baño de metal fundido 7 en la zona de aplicación del campo B. La profundidad de penetración magnética se da mediante la fórmula:

$$\delta_m = \frac{1}{\sqrt{\pi\mu_0\sigma f}}$$

20 con:

- δ_m : profundidad de penetración magnética,
- μ_0 : la permeabilidad del espacio libre,
- σ : la conductividad del metal fundido 7,
- f : la frecuencia del campo B.

25 En otras palabras, para obtener la profundidad de penetración magnética ideal, se elige la frecuencia del campo B para que sea inferior o igual a:

$$f \leq \frac{1}{\pi\mu_0\sigma h^2}$$

con h: la profundidad en metros del baño del metal fundido en la zona de aplicación del campo B.

5 Sin embargo, debido al riesgo antes mencionado de crear turbulencia en el metal fundido a causa de las pulsaciones de las fuerzas de Lorentz, es preferible optar por un compromiso entre estas dos consideraciones. De este modo, preferiblemente, se elige el valor de la frecuencia del campo B de modo que la profundidad de penetración magnética sea más pequeña que la
10 profundidad del baño de metal fundido 7 en la zona de aplicación del campo B. No obstante, es preferible establecer la frecuencia del campo B de modo que la profundidad de penetración magnética sea al menos igual al 5 % de la profundidad del baño de metal fundido 7 en la zona de aplicación del campo B, esto permite la mejora buscada en la calidad óptica que se obtendrá. Sin
15 embargo, más preferiblemente, la frecuencia del campo B se establece de modo que la profundidad de penetración magnética sea al menos igual al 15 % de la profundidad del baño de metal fundido 7 en la zona de aplicación del campo B, o incluso al menos igual al 25 % de la misma, o incluso al menos igual al 33 % de la misma, o incluso al menos 50 % de la misma, o incluso al menos igual al
20 75 % de la misma.

De este modo, en el ejemplo antes mencionado, para una profundidad del baño de estaño de 6,4 cm en la zona de aplicación del campo B, la frecuencia del campo B no debe exceder 7 Hz para que la profundidad de penetración magnética sea al menos igual a la profundidad del baño de metal fundido en la
25 zona de aplicación del campo y, posiblemente, se obtendrá una fuerza F_B de aproximadamente 8 N.m^{-3} con un campo B de valor RMS B_e de $8 \times 10^{-4} \text{ T}$ para un número de pares de polos de $p = 30$. Para evitar el riesgo de turbulencia en el metal fundido con relación a las pulsaciones de las fuerzas de Lorentz, es preferible limitar la profundidad de penetración magnética, por ejemplo, al
30 emplear un campo magnético B de frecuencia de 50 Hz, esto corresponde a una

5 resistencia de 3×10^{-4} T, esto corresponde a una profundidad de penetración magnética de 2,4 cm, es decir más del 37 % del espesor del metal fundido de la interfaz con el vidrio.

Como muestra este ejemplo, la resistencia del campo B será, posiblemente, claramente inferior que en la implementación precedente en la
10 cual la velocidad de deslizamiento V_B era igual a la velocidad V a la cual la cinta de vidrio 8 era arrastrada.

Por el contrario, en esta segunda implementación, es preferible no aplicar enfriamiento forzado a la cinta de vidrio 8, dado que esta medida promovería la impresión de la turbulencia que persiste en el metal fundido 7.

15 Cualquiera sea la implementación, desde el punto de vista de las dimensiones y la disposición con respecto al tanque 1 del dispositivo electromagnético 10, los expertos en la técnica tomarán en cuenta, donde sea apropiado, las interacciones del campo magnético B y de las líneas de corrientes inducidas en el metal fundido 7 con el material del cual está fabricado el tanque
20 1 si no fueran neutras o insignificantes.

El dispositivo electromagnético 10 está dispuesto, preferiblemente, por encima del baño de metal fundido 7, pero además, podría estar colocado debajo del tanque 1. Además, es preferible que el dispositivo electromagnético 10 esté aislado térmicamente del baño y se enfríe, por ejemplo, con agua, a fin de evitar
25 el sobrecalentamiento. Es ventajoso que el dispositivo electromagnético 10 permita que la frecuencia del campo B se ajuste para ajustar la velocidad de deslizamiento V_B del campo B según sea necesario. De manera similar, es ventajoso que el dispositivo electromagnético 10 permita que la resistencia B_e del campo B se ajuste según sea necesario, por ejemplo, por medio de un
30 suministro de tensión variable.

5 Por supuesto, la presente invención no está limitada a los ejemplos y a las realizaciones que se describen y se muestran, ya que estas pueden variar en numerosas formas que son accesibles a los expertos en la técnica.