



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 034**

51 Int. Cl.:
C23C 16/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09158141 .3**

96 Fecha de presentación : **17.04.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2110458**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.10.2009**

54 Título: **Horno de tratamiento térmico con calentamiento inductivo.**

30 Prioridad: **18.04.2008 FR 08 52641**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.04.2011

73 Titular/es: **MESSIER-BUGATTI**
Zone Aéronautique Louis Bréguet
78140 Vélizy Villacoublay, FR

72 Inventor/es: **Delperier, Bernard;**
Baudry, Yvan y
Petitjean, Olivier

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 356 034 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

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a las instalaciones u hornos de calentamiento inductivo utilizados para realizar unos tratamientos térmicos y en los que el o los gases utilizados en los tratamientos son precalentados antes de su introducción en la cámara de tratamiento del horno. Dichos hornos se utilizan en particular para realizar unos tratamientos termoquímicos como la cementación de piezas o la densificación de sustratos porosos mediante infiltración química en fase gaseosa.

10 Un campo de aplicación de la invención es el de la realización de piezas en material compuesto termoestructural, es decir en material compuesto que tiene a la vez unas propiedades mecánicas que lo hacen apto para constituir unas piezas estructurales y la capacidad de conservar estas propiedades hasta unas temperaturas elevadas. Unos ejemplos típicos de materiales compuestos termoestructurales son los compuestos carbono/carbono (C/C) que tienen una textura de refuerzo de fibras de carbono densificada por una matriz de carbono pirolítico y los compuestos de matriz cerámica (CMC) que tienen una textura de refuerzo de fibras refractarias (carbono o cerámica) densificada por una matriz cerámica.

15 La patente US nº 6.572.371 A1 describe un proceso bien conocido de densificación de sustratos porosos para realizar unas piezas de compuesto C/C o de CMC, que es la infiltración química en fase gaseosa (CVI). Los sustratos a densificar son colocados en una zona de carga de un horno en la que son calentados. Un gas reactivo que contiene uno o varios precursores gaseosos del material constitutivo de la matriz es introducido en el horno. La temperatura y la presión en el horno son reguladas para permitir que el gas reactivo se difunda en el seno de la porosidad de los sustratos y formar allí un depósito del material constitutivo de la matriz por descomposición de uno o varios constituyentes del gas reactivo o reacción entre varios constituyentes, formando estos constituyentes el precursor de la matriz. El proceso se realiza bajo presión reducida, con el fin de favorecer la difusión de los gases reactivos en los sustratos. La temperatura de transformación del o de los precursores para formar el material de la matriz, tal como carbono pirolítico o cerámica, es en la mayoría de los casos superior a 900°C, típicamente próxima a 1.000°C.

20 Con el fin de realizar una densificación lo más homogénea posible de los sustratos en toda la zona de carga del horno, ya sea en términos de incremento de densidad o en términos de microestructura del material de matriz formado, es necesario que la temperatura en toda la zona de carga sea sustancialmente uniforme.

25 Asimismo, los hornos comprenden habitualmente una zona o cámara de precalentamiento de gas reactivo situada entre la entrada del gas reactivo en el horno y la zona de carga. Típicamente, la zona de precalentamiento comprende una pluralidad de platos perforados recorridos por el gas reactivo.

30 Los platos de precalentamiento del gas, así como los sustratos son calentados debido a su presencia en el horno. El calentamiento de este último está generalmente asegurado por medio de un inductor, denominado también susceptor, por ejemplo en grafito, que define la pared lateral del horno y que está acoplado a un inductor que rodea el horno. Según el principio bien conocido del calentamiento por inducción, cuando el susceptor está dispuesto en un campo magnético variable generado por la circulación de una corriente en el inductor, una corriente inducida, "que refleja" la corriente inductora, circula en el susceptor. La corriente inducida que circula en el susceptor provoca el calentamiento de este último por efecto Joule. El calor así disipado es transmitido por radiación al recinto del horno delimitado por el susceptor.

35 En el caso de hornos de grandes dimensiones (grandes diámetros), el solicitante ha observado que existen unas deshomogeneidades de temperatura. Un ejemplo significativo es el de la densificación de sustratos por infiltración química en fase gaseosa isotérmica (ICVI), estando dichos sustratos constituidos por unas preformas anulares de fibras de carbono, o unos semielaborados anulares previamente densificados, para la realización de discos de freno de compuesto C/C. Los sustratos están dispuestos en una o varias pilas verticales en la zona de carga, por encima de la cámara de precalentamiento del gas reactivo situada en la parte inferior del horno. Es importante minimizar las variaciones de temperatura del gas reactivo a lo largo de todo el proceso de densificación para reducir las deshomogeneidades de densificación en las pilas. Ahora bien, con una cámara de precalentamiento tal como la descrita anteriormente, se han observado unas variaciones de temperatura.

40 De manera general, para cualquier horno de tratamiento térmico que comprenda una cámara de precalentamiento de gas, es deseable que el precalentamiento del gas asegure un mejor control térmico a lo largo de toda la densificación.

45 Con el fin de resolver este problema, se podría prever incrementar la eficacia del precalentamiento del gas mediante la ampliación de la zona de calentamiento en particular mediante el aumento de su volumen en altura en detrimento del de la zona de carga a igualdad de volumen total de horno. Ahora bien, los tratamientos tales como los procesos de infiltración química en fase gaseosa requieren unas inversiones costosas a escala industrial, y son muy largos de realizar. Es por tanto altamente deseable que los hornos tengan una productividad elevada, ya sean unos hornos en servicio o nuevos hornos a realizar, por tanto una relación tan elevada como sea posible entre volumen útil dedicado a la carga de los sustratos o piezas a tratar y volumen dedicado al calentamiento del gas reactivo.

OBJETO Y RESUMEN DE LA INVENCION

5 La invención tiene por objetivo proponer una concepción de horno de tratamiento térmico que permita incrementar la eficacia del precalentamiento, y esto sin requerir un volumen importante de la zona de calentamiento del gas, por tanto sin afectar, incluso mejorando, la productividad de los hornos.

10 Con este fin, la presente invención propone un horno de tratamiento térmico, que comprende una zona de carga o de tratamiento, por lo menos una entrada de gas, una cámara de precalentamiento de gas situada en el horno entre la entrada del gas y la zona de carga o de tratamiento, un susceptor que comprende por lo menos una pared lateral que rodea la cámara de precalentamiento y la zona de carga o de tratamiento, y un inductor apto para calentar la pared lateral por inducción, horno en el que, de acuerdo con la invención, la parte de la pared lateral del susceptor situada alrededor de la cámara de precalentamiento presenta por lo menos dos vaciados separados circunferencialmente entre sí de manera que formen unas porciones de espesor reducido sobre dicha parte de pared lateral.

15 Utilizando un susceptor cuya pared lateral alrededor de la cámara de precalentamiento presenta a nivel de los vaciados unas porciones de espesor reducido, se crean unas zonas de calentamiento localizadas (picos de temperatura puntuales).

20 Gracias a estos calentamientos localizados, se aumenta además la temperatura global en la cámara de precalentamiento. Se mejora así la eficacia de la cámara de precalentamiento sin tener que recurrir a un aumento de su volumen perjudicial para la capacidad de carga del horno.

25 Como se mostrará más adelante, se puede asegurar también un mejor control térmico reduciendo las variaciones de la temperatura a la que se exponen los sustratos a lo largo de toda la densificación.

30 De acuerdo con la invención, la parte del susceptor que comprende los vaciados está situada a nivel de la cámara de precalentamiento para evitar crear unos puntos calientes en la zona de carga que conducirían, en el caso de un tratamiento térmico aplicado a la densificación de sustratos porosos, a una densificación acelerada de los sustratos próximos a estos puntos con respecto a los otros sustratos más alejados.

35 Los vaciados pueden estar dispuestos en la periferia interna o en la periferia externa de la pared lateral del susceptor. Los vaciados se abren preferentemente hacia el exterior de la virola. Los vaciados están preferentemente separados regularmente entre sí de manera que tengan una buena repartición del calor emitido desde las porciones de espesor reducido. En el caso por ejemplo de que la parte de la pared lateral del susceptor presenta tres vaciados, éstos están separados en 120° unos de los otros. Los vaciados pueden estar además llenos de un material eléctricamente y térmicamente aislante tal como la alúmina.

40 La altura de los vaciados es preferentemente inferior a la de la cámara de precalentamiento y del soporte de la carga con el fin de localizar las porciones de espesor reducido a nivel de la cámara de precalentamiento y evitar así la generación de puntos calientes en la zona de carga que podrían perturbar localmente la cinética de depósito en los sustratos.

45 Según un aspecto de la invención, la pared lateral del susceptor está segmentada en por lo menos dos virolas: una virola inferior que presenta los vaciados y una virola superior que rodea principalmente la zona de carga o de tratamiento. La parte de la pared lateral del susceptor que presenta los vaciados puede ser así realizada independientemente del resto de la pared.

50 Según otro aspecto particular de la invención, la virola inferior forma la pared lateral de la cámara de precalentamiento y presenta un escalonado para soportar el plato superior de la cámara de precalentamiento.

Según aún otro aspecto particular de la invención, la virola inferior puede estar desacoplada de la cámara de precalentamiento.

55 El inductor es mandado por un generador de tensión alterna cuya frecuencia está comprendida entre 50 Hz y 1.000 Hz aproximadamente.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

Otras particularidades y ventajas del horno de densificación de acuerdo con la invención se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción siguiente, a título indicativo pero no limitativo, haciendo referencia a los planos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una vista esquemática en sección de un modo de realización de un horno de densificación de acuerdo con la invención;
- la figura 2 es una vista en sección del horno de la figura 1 según el plano II-II;
- la figura 3 es una vista ampliada de la parte inferior del horno de la figura 1;

- la figura 4 es una vista en perspectiva de la virola inferior del susceptor del horno de la figura 1;
- la figura 5 es una vista en perspectiva de una variante de realización de la virola inferior de la figura 4;
- la figura 6 es un gráfico que muestra la evolución de la temperatura respectivamente en la proximidad y en la parte opuesta de un vaciado de la virola inferior del susceptor;
- 5 - la figura 7 es una vista ampliada de la parte inferior de otro modo de realización de un horno de densificación de acuerdo con la invención; y
- la figura 8 es una vista en perspectiva de la virola inferior del susceptor del horno de la figura 7.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MODOS DE REALIZACIÓN

10 La invención se aplica a cualquier tipo de instalaciones u hornos de calentamiento inductivo utilizados para realizar unos tratamientos térmicos y en los que el o los gases utilizados en los tratamientos son precalentados en una cámara de precalentamiento antes de su introducción en la zona de tratamiento o de carga del horno. Dichos hornos se utilizan en particular para realizar unos tratamientos termoquímicos como la cementación de piezas o la densificación de sustratos porosos mediante infiltración química en fase gaseosa.

15 Unos modos de realización del horno de acuerdo con la invención se describirán a continuación en el marco de la aplicación a la densificación de sustratos porosos anulares constituidos por una preformas de fibras de carbono o unos semielaborados previamente densificados destinados a la realización de discos de freno en material compuesto C/C. Dichos discos se utilizan habitualmente para ruedas de aviones y para automóviles de competición.

20 Un primer modo de realización de un horno de densificación se describe en relación con las figuras 1 a 3. La figura 1 muestra esquemáticamente un horno 10 delimitado por una pared lateral cilíndrica 12, una pared de fondo 14 y una pared superior 16.

25 Una cámara de precalentamiento de gas 50 se extiende entre el fondo 14 del horno y un plato de distribución de gas 60. De manera bien conocida, la cámara de precalentamiento 50 comprende varios platos perforados 52₁ a 52₄, por ejemplo en grafito, dispuestos unos encima de los otros, y manteniendo separados unos de los otros por unas columnas 28 y unas riostras anulares 29 también realizadas por ejemplo en grafito (figura 3). Un conducto 58 conecta la entrada de gas reactivo 22 con la cámara de precalentamiento 50, a través del fondo 14.

30 Los sustratos a densificar 32 están dispuestos en una zona de carga 30 (o cámara de reacción) en una pluralidad de pilas verticales anulares 31_a a 31_l (figura 2) que descansan sobre un plato de soporte de carga 40. Éste comprende una pluralidad de pasos 40_a alineados con los volúmenes internos 36_a a 36_l de las pilas y cada pila está obturada en su parte superior por una tapa tal como 34_a o 34_b. El plato de distribución de gas comprende una pluralidad de pasos 60_a alineados con los pasos 40_a y los volúmenes internos 36_a a 36_l (figura 3). Los pasos 60_a están conectados a los pasos 40_a por unos conductos o chimeneas 61 que desembocan en unas aberturas 70_a de un plato de sostenimiento 70 alineadas con las aberturas 40_a. Unos anillos 84 están dispuestos además entre la parte superior de las chimeneas 61 y las aberturas 40_a. El plato 70 soporta el plato de carga 40 con unas columnas 86. Asimismo, el plato 70 está soportado por el plato de distribución de gas 60 por medio de columnas 62.

40 Las pilas 31_a a 31_l de los sustratos descansan sobre el plato de soporte de carga 40 y pueden estar divididas en varias secciones superpuestas separadas por uno o varios platos intermedios 42 que tienen unos pasos centrales 42_a alineados con los de los sustratos 32. Cada sustrato 32 está separado de un sustrato adyacente o, en caso necesario, de un plato 40, 42 o de la tapa 34 por unas calas de separación 44 que definen unos intervalos 46. Las calas 44, o por lo menos una parte de ellas, están dispuestas para dejar unos pasos para el gas entre los volúmenes 36_a a 36_l y 38. Estos pasos pueden ser realizados de manera que equilibren sustancialmente la presión entre los volúmenes 36 y 38, como se describe en la patente US nº 5.904.957, o de manera que constituyan simples pasos de fuga que mantienen un gradiente de presión entre los volúmenes 36 y 38, como se ha descrito en la solicitud de patente presentada con el número EP 0 063 988.

50 El gas reactivo admitido en el horno a través de la entrada 22 atraviesa la cámara de precalentamiento 50 circulando a través de las múltiples perforaciones de los platos 52. El gas precalentado es conducido a continuación por los pasos 60_a y las chimeneas 61 y llega a los volúmenes internos 36_a a 36_l de las pilas a través de los pasos tales como 40_a y 40_b del plato 40. El gas pasa a continuación al volumen 38 externo de las pilas al interior de la zona de carga 30. El gas efluente es extraído por un paso 24 formado en la pared superior 16, estando el paso 24 conectado por un conducto 26 a unos medios de aspiración, tales como una bomba de vacío (no representada).

Aunque se han representado doce pilas en la figura 2, el número de pilas podrá evidentemente ser más o menos importante.

55 Según una variante de realización, los volúmenes internos 36_a a 36_l pueden estar cerrados a nivel de su parte inferior y puestos en comunicación por su parte superior con el paso 24. El gas reactivo que procede de la cámara de precalentamiento 50 es entonces admitido en el volumen 38 de la zona de carga y la circulación del gas en esta zona se realiza del volumen 30 hacia los volúmenes 36_a a 36_l, estando el volumen 38 obturado por su parte

superior.

Según aún otra variante, la entrada de gas reactivo puede ser realizada a través de la pared superior 16 del horno, estando la zona de calentamiento entonces situada en la parte superior del horno, estando los volúmenes 36a a 36j en comunicación con la zona de calentamiento y obturados por su parte inferior mientras que el volumen 38 comunica con una salida de gas formada en la parte inferior del horno, o inversamente.

Para la formación de una matriz de carbono pirolítico, el gas reactivo contiene uno o varios precursores del carbono tales como unos hidrocarburos. La infiltración química en fase gaseosa se realiza a una temperatura generalmente superior a 900°C, por ejemplo comprendida entre 950°C y 1.100°C, y bajo una presión reducida, por ejemplo inferior a 0,1 kPa.

La pared lateral cilíndrica 12 constituye un inducido, o suscepto, por ejemplo de grafito, que está acoplado con un inductor 18 situado en el exterior del horno y constituido por lo menos por una bobina de inducción. Un aislante 20 está interpuesto entre el inductor 18 y la pared 12. De forma bien conocida, el calentamiento del horno está asegurado por el calentamiento del inducido 12 cuando el inductor 18 es alimentado con una tensión alterna. Con este fin, la o las bobinas del inductor están conectadas a un generador de tensión alterna (no representado).

El campo magnético creado por el inductor 18 induce en la pared 12 (susceptor) una corriente eléctrica que provoca por efecto Joule el calentamiento de esta última. La temperatura alcanzada cuando tiene lugar la circulación de la corriente inducida depende entonces directamente de la sección de paso disponible para esta corriente.

La potencia disipada en un conductor puede ser expresada con la ecuación siguiente:

$$P = R \cdot I^2, \quad \text{siendo:} \quad \begin{array}{l} P = \text{potencia disipada,} \\ R = \text{valor de resistencia del conductor,} \\ I = \text{corriente que circula en el conductor,} \end{array}$$

Por otra parte, la resistencia del conductor se calcula según la ecuación:

$$R = \rho \cdot l / S \quad \text{siendo:} \quad \begin{array}{l} R = \text{resistencia en } \Omega \text{ (ohm)} \\ \rho = \text{resistividad en } \mu\Omega \cdot \text{m} \\ l = \text{longitud en metros} \\ S = \text{sección en milímetros cuadrados} \end{array}$$

Por consiguiente, un estrechamiento de la sección de paso de la corriente inducida provoca un aumento de la potencia disipada y por tanto de la temperatura de calentamiento del conductor.

Las resistencias, y, en consecuencia, la potencia disipada, pueden aumentar asimismo cuando el estrechamiento de la pared del suscepto provoca un aumento del tamaño del entrehierro.

De acuerdo con la invención, la parte de la pared lateral 12 que rodea la cámara de precalentamiento 50 presenta unas porciones de sección reducida con el fin de crear unos puntos de calentamiento localizados a este nivel del horno.

Más precisamente, como se ha representado en las figuras 1 y 3, la pared lateral 12 está formada por lo menos en dos partes, a saber una virola superior 122 cuya pared presenta un espesor uniforme y una virola inferior 121 que comprende tres vaciados 1210 repartidos uniformemente sobre la periferia externa de la virola 121. Como se ha ilustrado en la figura 4, cada vaciado 1210 forma en la virola inferior 121 una porción de pared que presenta un espesor e_2 inferior al espesor e_1 del resto de la pared de la virola.

Los vaciados 1210 presentan una altura h que es de una manera general por lo menos ligeramente inferior a la altura de la cámara de precalentamiento para no crear puntos calientes en la zona de carga perjudiciales para la uniformidad de densificación de los sustratos.

La profundidad p de los vaciados, que determina la reducción de espesor de pared deseada, es función de la temperatura del calentamiento localizado ("sobrecalentamiento") que se desea obtener a nivel de las porciones de espesor reducido. En efecto, como se ha ilustrado en la figura 4, la corriente inducida I_{ind} que circula en la virola inferior 121 del suscepto dispone de una sección de paso más reducida a nivel de los vaciados 1210 puesto que la pared de la virola inferior 121 presenta en estos puntos un espesor e_2 inferior al espesor e_1 del resto de la pared. La circulación de la corriente en estas secciones de paso más reducidas crea por efecto Joule un calentamiento más importante que en las otras partes de la virola inferior 121. Cuanto más se reduce el espesor e_2 (es decir cuanto más se aumenta la profundidad p de los vaciados), más se aumenta el efecto de calentamiento localizado. Sin embargo, la reducción del espesor de la pared a nivel de los vaciados 1210 está limitada a un espesor a partir del cual el material de la virola inferior 121 resulta demasiado frágil mecánicamente. El espesor e_2 corresponde preferentemente a entre 30% y 60% del espesor e_1 del resto de la pared.

Los vaciados 1210 presentan asimismo una anchura l que se determina en función de la longitud del paso de corriente de sección reducida (longitud de la zona de calentamiento localizado) que se desea obtener. Sin embargo, la anchura l debe además ser suficientemente grande para evitar los riesgos de formaciones de arcos eléctricos entre los bordes laterales de los vaciados 1210 que anularían el efecto de calentamiento permitiendo que una parte de la corriente inducida circule contorneando la porción de sección reducida. Los vaciados 1210 pueden presentar, por ejemplo, una anchura l de por lo menos 15 cm aproximadamente si es compatible con la tensión de salto de chispa. La anchura mínima de los vaciados se determina en función de la presión del gas utilizado en el horno. En efecto, según la ley de Paschen, cuanto más baja es la presión, más elevado es el riesgo de aparición de un arco eléctrico a una tensión de salto de chispa dada. Los tres vaciados 1210 ocupan sustancialmente entre 20% y 30% de la periferia de la virola.

En este modo de realización, la virola inferior 121 presenta en su periferia interna un escalonado 121a (figura 3) que forma una base sobre la cual descansa el plato de distribución de gas 60.

Se han realizado unas mediciones de temperaturas para mostrar los efectos producidos cuando la virola del susceptor presenta unos vaciados de acuerdo con la presente invención. Estas mediciones han sido efectuadas en un horno similar al presentado anteriormente en relación con las figuras 1 a 4, es decir un horno cuya virola inferior del susceptor presenta tres vaciados repartidos uniformemente (a 120° entre sí) sobre la periferia externa de la virola inferior. La virola inferior del susceptor presenta un diámetro externo de 4190 mm y un diámetro interno de 3830 mm por encima del escalonado y de 2980 mm por debajo del escalonado. Los tres vaciados presentan cada uno una altura de 238 mm, una profundidad de 212 mm y una anchura de 200 mm.

La figura 6 muestra la evolución de la temperatura cuando tiene lugar la puesta en calentamiento del horno. la curva A representa la temperatura medida con una sonda de temperatura situada a 380 mm de la base del susceptor por encima de un vaciado, mientras que la curva B representa la temperatura medida con una sonda de temperatura situada asimismo a 380 mm de la base del susceptor pero en una parte opuesta a un vaciado. Se constata que la temperatura cuando tiene lugar el calentamiento del horno es más importante en la proximidad de los vaciados que en las otras porciones de la virola. Esto demuestra la capacidad de los vaciados para crear unas zonas de calentamiento localizadas bajo el efecto de la inducción.

La tabla siguiente muestra las temperaturas medidas cuando tiene lugar un ciclo de infiltración CVI a la vez en un horno de la técnica anterior, es decir con un susceptor cuya pared no presenta vaciados, y en un horno de acuerdo con la invención, a saber un horno que comprende un susceptor cuya virola inferior presenta tres vaciados como se ha descrito más arriba. Los dos hornos presentan unas dimensiones similares y una carga idéntica, a saber unas preformas dispuestas en pilas verticales anulares tales como las descritas anteriormente en relación con unas figuras 1 y 2. La infiltración CVI ha sido realizada en cada uno de los hornos en condiciones idénticas (las mismas condiciones de presión, de caudal y de composición de gas, y la misma alimentación del inductor (amplitud/frecuencia)).

Ciclo CVI	Horno con virola susceptor sin vaciados			Horno con virola susceptor vaciado		
	Inicio	Medio	Final	Inicio	Medio	final
T° susceptor (°C)	1088	1084	1085	1056	1042	1033
T° carga, pila lateral (°C)	951	972	998	1000	1009	1010
T° centro bajo de pila (°C)	927	948	977	945	960	978

Los dos procesos de densificación son comparables puesto que, en el centro bajo de pila, la temperatura final es prácticamente la misma (977°C y 978°C).

Las mediciones de temperatura presentadas en la tabla anterior muestran que en un horno que utiliza un susceptor que comprende unos vaciados de acuerdo con la invención, se obtiene, con una temperatura de susceptor más baja que en un horno de la técnica anterior, una temperatura globalmente más elevada y más homogénea en las zonas de precalentamiento y de carga a lo largo de todo el ciclo de infiltración.

Los dos ciclos son totalmente comparables puesto que al final de densificación, la temperatura alcanzada en el centro bajo de pila es sustancialmente la misma (977°C y 978°C).

La variación de temperatura entre el inicio y el final de la densificación es sustancialmente inferior en el caso de la invención, a saber una variación de 33°C en lugar de 47°C en el centro bajo de pila y una variación de 10°C en lugar de 47°C para una pila lateral.

Además, se evita una temperatura demasiado elevada del susceptor, siendo la temperatura global de aproximadamente 1.400°C. Así, el riesgo de modificación de la naturaleza del carbono pirólitico depositado es

reducido, así como el riesgo de producción de depósitos indeseables (hollines), y la carga térmica sobre el suscepter es reducida, confiriéndole una duración de vida más larga.

El rendimiento térmico global del horno mejora así y esto se desprende incluso de la temperatura en el centro bajo de pila al inicio de la densificación que es de 943°C en lugar de 927°C.

5 Según una variante de realización de la invención ilustrada en la figura 5, el suscepter puede comprender una virola inferior 221 con unos vaciados 2210 practicados en la periferia interna de la virola.

10 La figura 7 muestra otra variante de realización de horno de densificación 300 que se distingue de la de la figura 1 porque la virola inferior 321 está desacoplada mecánicamente de la cámara de precalentamiento 350. En este modo de realización, la cámara de precalentamiento 350 está formada por una caja 390 delimitada por una pared lateral 351, la pared de fondo 314 del horno y el plato de distribución de gas 360. Los platos perforados 352 están alojados en la caja así formada.

15 Las pared lateral cilíndrica 312 que constituye el suscepter del horno 300 acoplado con un inductor 318, está formada por lo menos en dos partes, una virola superior 322 cuya pared presenta un espesor uniforme y una virola inferior 321. Como se ha ilustrado en la figura 8, la virola inferior 321 comprende como la virola inferior 121 descrita anteriormente tres vaciados 3210 repartidos uniformemente sobre la periferia externa de la virola 321 y que forman en la virola inferior 321 una porción de pared que presenta un espesor inferior al espesor de la pared del resto de la virola. Los vaciados pueden estar también practicados en la periferia interna de la virola.

20 La altura, la profundidad y la anchura de los vaciados es función de los criterios descritos más arriba. Los vaciados pueden estar también practicados sobre la periferia interna de la virola 321.

Los otros elementos del horno 300 son idénticos a los ya descritos anteriormente en relación con el horno 10 y no serán descritos aquí de nuevo con fines de simplificación.

25 Según un aspecto de la invención, los vaciados pueden ser rellenados con un material no conductor con el fin de reforzar mecánicamente la virola a nivel de los vaciados. Por otra parte, el material de relleno utilizado es preferentemente aislante térmicamente para evitar una radiación térmica hacia el exterior del recinto del horno. Dicho material puede ser, por ejemplo, la alúmina.

El efecto de calentamiento localizado producido por los vaciados en la virola inferior del suscepter es tanto más eficaz cuanto más baja es la frecuencia de mando. El inductor es alimentado por un generador con una tensión alterna que tiene una frecuencia comprendida entre 50 Hz y 1000 Hz, por ejemplo 850 Hz.

30 Se observará por último que el campo de aplicación de la invención no está limitado en modo alguno a la realización de discos de freno en compuesto C/C sino que se extiende también a la realización de otras piezas en compuesto C/C, por ejemplo unos divergentes de toberas de motores cohete, como se ha mostrado en particular en la patente US nº 5.904.957 ya citada. Más generalmente, la invención puede ser utilizada para la realización de piezas en cualquier tipo de material compuesto termoestructural, es decir no solamente de los compuesto C/C sino también de los CMC. En este último caso, la composición del gas reactivo se elige en función de la naturaleza particular de la matriz cerámica. Unos precursores gaseosos de matrices cerámicas son bien conocidos, por ejemplo el metiltriclorosilano (MTS) y el gas hidrógeno (H₂) para formar una matriz de carburo de silicio. Se podrá hacer referencia a la patente FR 2 401 888 que describe unos procedimientos de formación de diferentes matrices cerámicas.

40 En el caso de tratamientos térmicos distintos de los destinados a la densificación de sustratos porosos como, por ejemplo, la cementación, el experto en la materia podrá prever sin dificultad la utilización de la presente invención utilizando y adaptando la virola 121 descrita anteriormente al tamaño y a la forma del horno considerado.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Horno de tratamiento térmico (10), que comprende una zona de carga o de tratamiento (30), por lo menos una entrada de gas (22), una cámara de precalentamiento de gas (50) situada en el horno entre la entrada del gas (22) y la zona de carga o de tratamiento (30), un susceptor que comprende por lo menos una pared lateral (12) que rodea la cámara de precalentamiento (50) y la zona de carga o de tratamiento (30), y un inductor (18) apto para calentar la pared lateral (12) por inducción, caracterizado porque la parte (121) de la pared lateral (12) del susceptor situada alrededor de la cámara de precalentamiento (50) presenta por lo menos dos vaciados (1210) separados circunferencialmente entre sí de manera que formen unas porciones de espesor reducido en dicha parte de pared lateral.
- 10 2. Horno según la reivindicación 1, caracterizado porque la pared lateral del susceptor situada alrededor de la cámara de precalentamiento (50) presenta tres vaciados (1210) separados uniformemente entre sí.
3. Horno según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque los vaciados (1210; 2210; 3210) están practicados sobre la periferia interna o sobre la periferia externa de la pared lateral del susceptor.
- 15 4. Horno según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque los vaciados (1210; 2210; 3210) están regularmente separados entre sí.
5. Horno según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque las porciones de la pared lateral que presentan los vaciados (1210; 2210; 3210) presentan un espesor comprendido entre 30% y 60% del espesor de la pared lateral.
- 20 6. Horno según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque la altura de los vaciados (1210; 2210; 3210) es inferior a la de la cámara de precalentamiento.
7. Horno según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque los vaciados (1210; 2210; 3210) presentan una anchura de por lo menos 15 cm.
- 25 8. Horno según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la pared lateral del susceptor está formada por lo menos por una virola superior (122; 322) que rodea la zona de carga (30; 330) y una virola inferior (121; 321) que rodea la cámara de precalentamiento (50; 350), virola inferior que comprende dichos vaciados (1210; 3210).
9. Horno según la reivindicación 8, caracterizado porque la virola inferior (121) forma la parte lateral de la cámara de precalentamiento (50) y porque dicha virola inferior presenta un escalonado (121a) para soportar el plato superior (60) de la cámara de precalentamiento (50).
- 30 10. Horno según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque la pared lateral (12; 312) del susceptor es de grafito.
11. Horno según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque los vaciados están llenos de un material eléctricamente aislante.
12. Horno según la reivindicación 11, caracterizado porque el material es además térmicamente aislante.
- 35 13. Horno según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado porque el inductor está conectado a un generador de tensión alterna que tiene una frecuencia comprendida entre 50 Hz y 1.000 Hz.

2/6

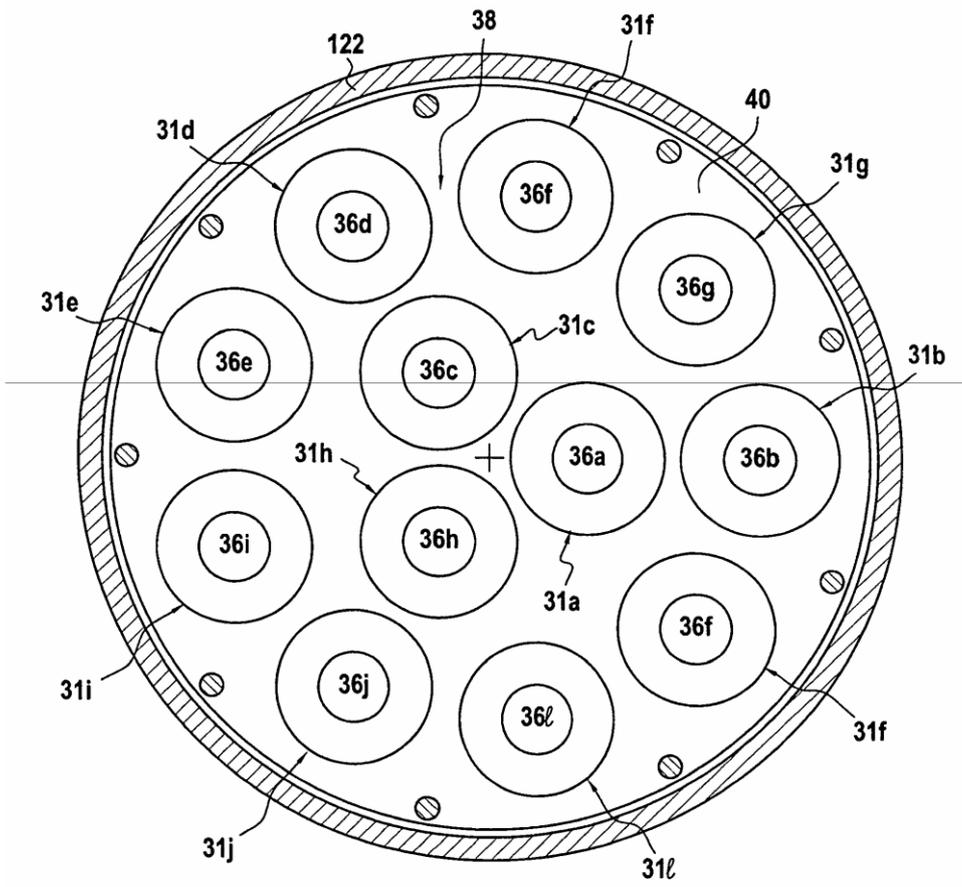


FIG. 2

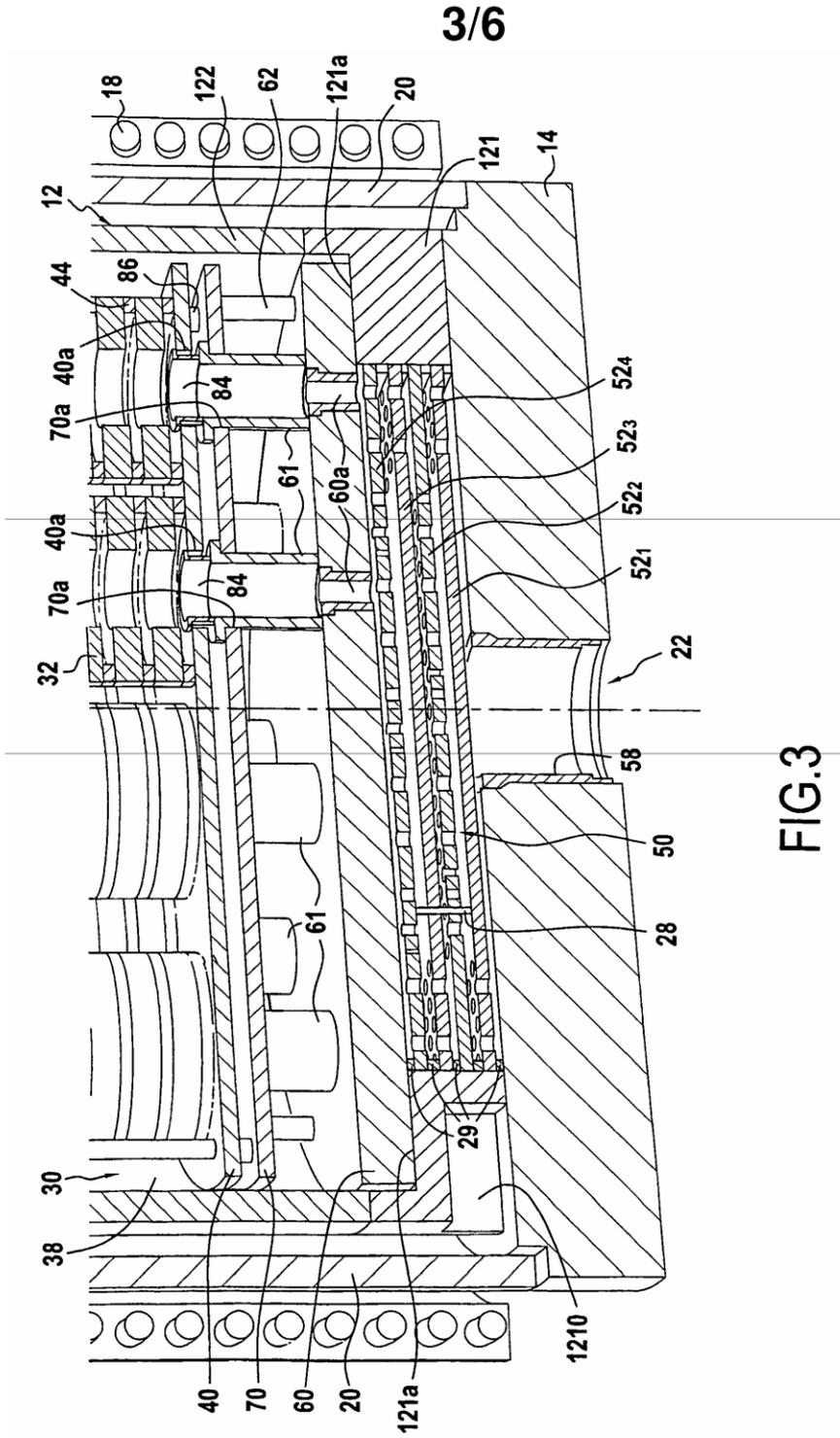


FIG.3

4/6

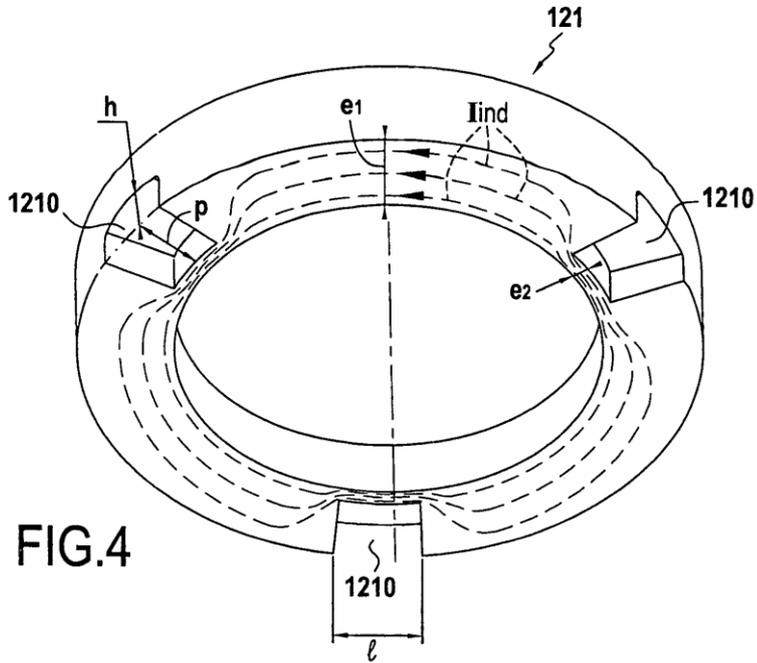


FIG. 4

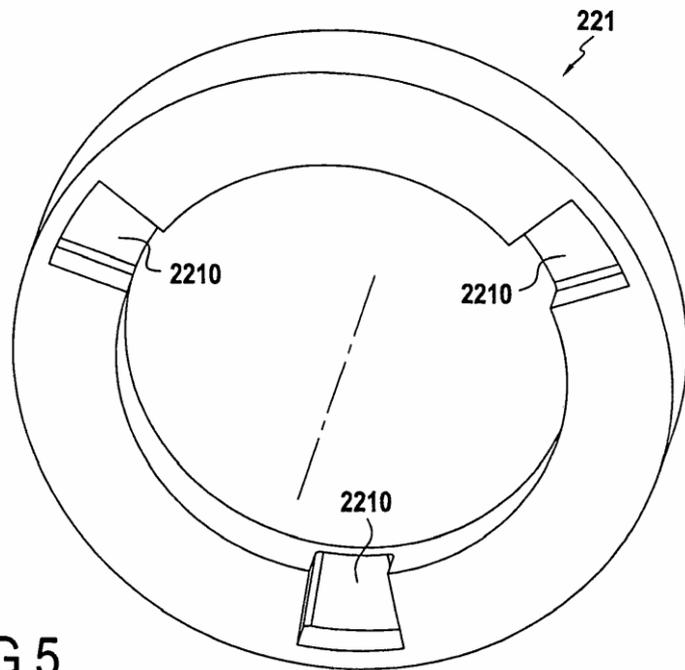


FIG. 5

5/6

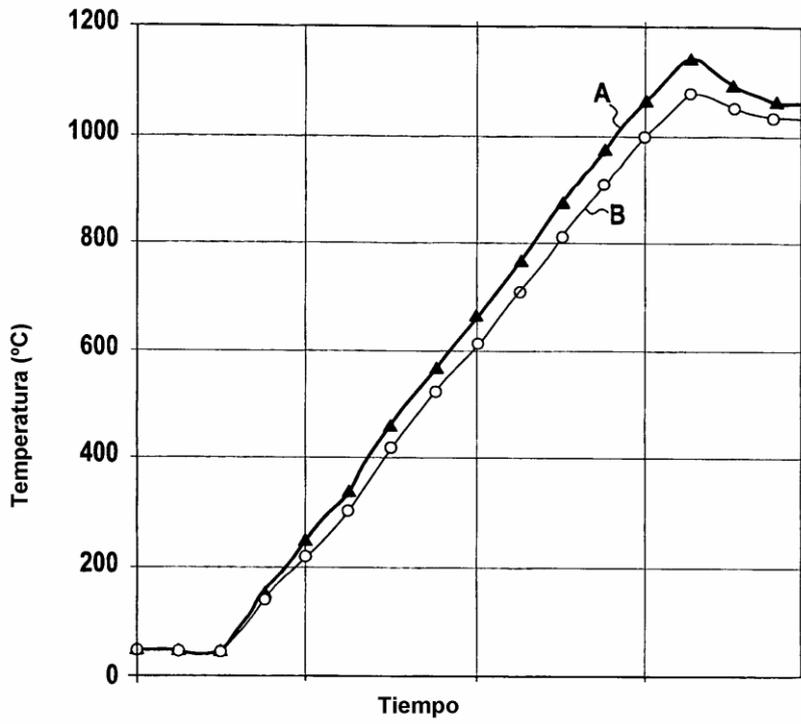


FIG.6

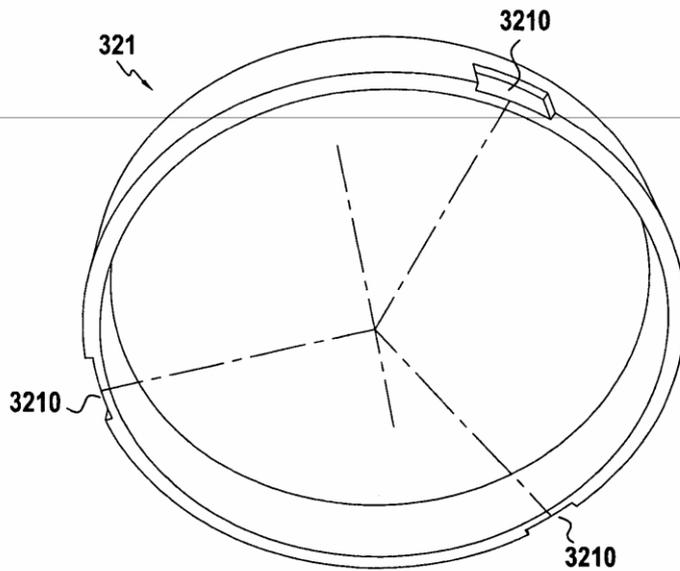


FIG.8

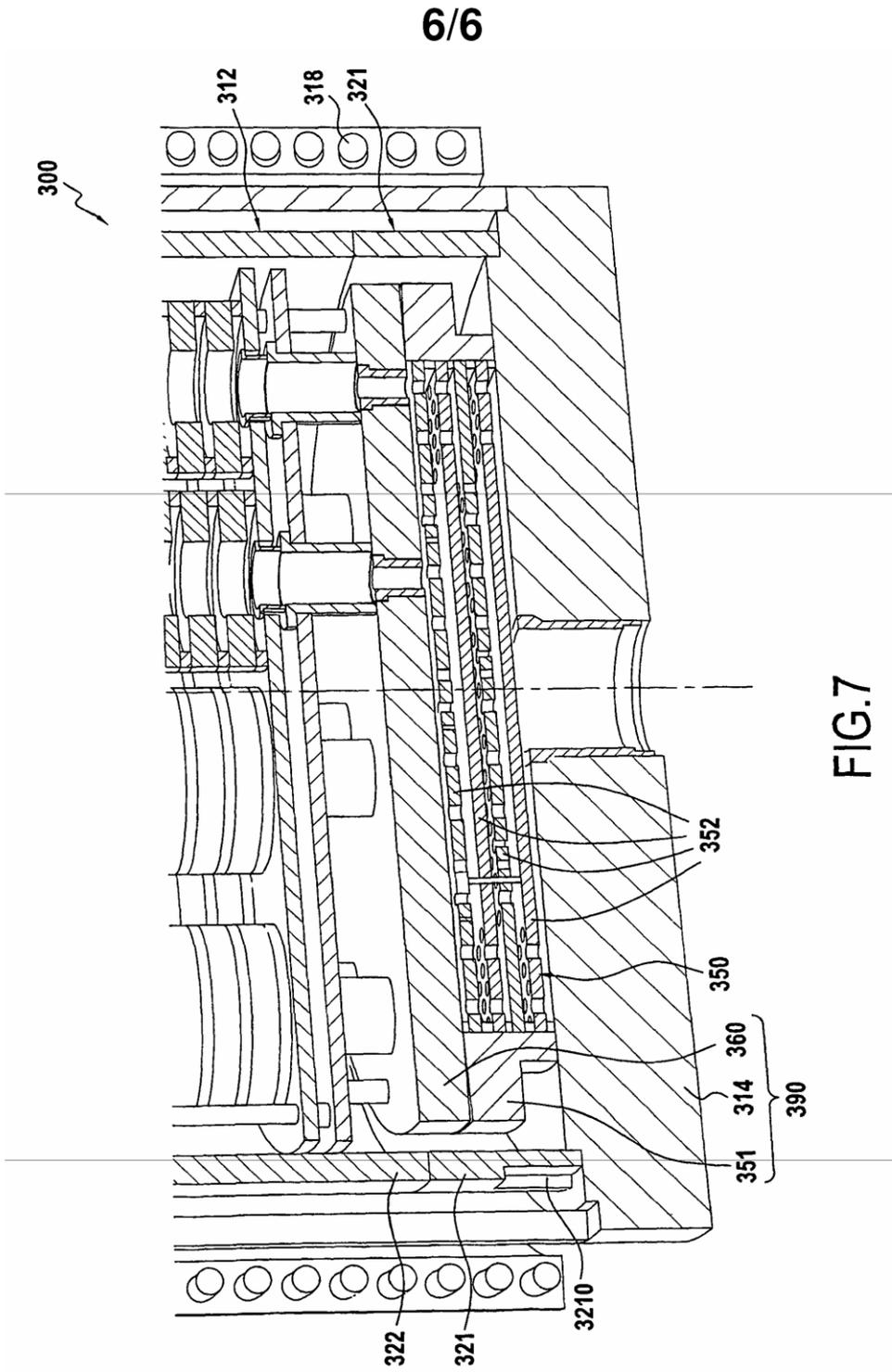


FIG. 7