



(51) Classification internationale des brevets :
F27B 17/00 (2006.01) F27D 99/00 (2010.01)
F27D 7/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2024/050770

(22) Date de dépôt international :
12 juin 2024 (12.06.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2306224 16 juin 2023 (16.06.2023) FR

(71) Déposant : SAFRAN CERAMICS [FR/FR] ; Rue de Tou-
ban les Cinq Chemins, 33185 LE HAILLAN (FR).

(72) Inventeurs : THIBAUD, Simon Lucien René ; Safran, c/
o Centre d'Excellence Propriété Intellectuelle, Rond-point
René Ravaud, Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR).
COSSOU, Benjamin ; Safran, c/o Centre d'Excellence Pro-
priété Intellectuelle, Rond-point René Ravaud, Réau, 77550
MOISSY-CRAMAYEL (FR). DESCAMPS, Cédric ; Sa-
fran, c/o Centre d'Excellence Propriété Intellectuelle, Rond-
point René Ravaud, Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL
(FR).

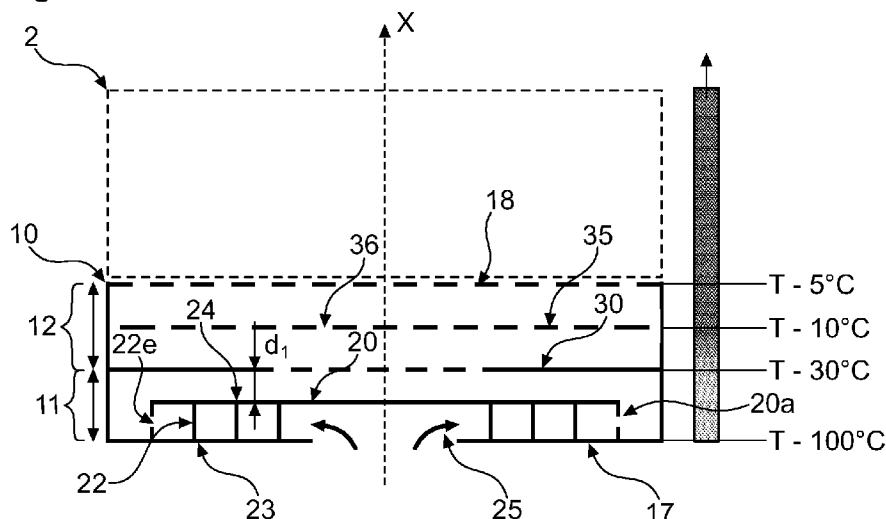
(74) Mandataire : BARBE, Laurent et al. ; GEVERS & ORES,
Immeuble Palatin 2, 3 cours du Triangle, CS 80165, 92939
PARIS LA DEFENSE CEDEX (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) Title: PREHEATING MODULE, FURNACE COMPRISING SUCH A PREHEATING MODULE AND METHOD FOR DENSIFYING AND CONSOLIDATING A PART BY MEANS OF SUCH A PREHEATING MODULE

(54) Titre : MODULE DE PRÉCHAUFFAGE, FOUR COMPRENANT UN TEL MODULE DE PRÉCHAUFFAGE ET PROCÉDÉ DE DENSIFICATION ET DE CONSOLIDATION D'UNE PIÈCE AU MOYEN D'UN TEL MODULE DE PRÉCHAUFFAGE

Fig. 2b



(57) Abstract: The invention relates to a preheating module (10) comprising a dispersion chamber (11) that comprises a unit (20) for distributing the gas mixture comprising an inlet (25) located at the lower edge (17) and a plurality of inner walls (22) forming a flow path (21) for the gas mixture; and a diffusion chamber (12) located downstream of the dispersion chamber (11) and arranged above the dispersion chamber, and forming, together with the dispersion chamber, a stack. The flow path (21) of the gas mixture runs mainly along longitudinal (Y) and transverse (Z) axes orthogonal to a stacking axis (X), and the dimension of the diffusion chamber (12) along

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

the stacking axis (X) does not differ by more than 20% relative to the dimension of the dispersion chamber (11) along this stacking axis.

(57) Abrégé : L'invention concerne un module de préchauffage (10) comportant une chambre de dispersion (11) comprenant une unité (20) d'éclatement du mélange de gaz comprenant une entrée (25) située au niveau de la bordure inférieure (17) et une pluralité de parois (22) intérieures formant un chemin (21) d'écoulement du mélange de gaz; et une chambre de diffusion (12) située en aval de la chambre de dispersion (11) disposée au-dessus de la chambre de dispersion et formant avec la chambre de dispersion un empilement. Le chemin (21) d'écoulement du mélange de gaz s'étend principalement selon des directions d'axes longitudinal (Y) et transversal (Z) orthogonaux à un axe (X) d'empilement, et en ce que la dimension de la chambre de diffusion (12) le long de l'axe (X) d'empilement ne diffère pas de plus de 20% par rapport à la dimension de la chambre de dispersion (11) le long de cet axe d'empilement.

DESCRIPTION

TITRE : MODULE DE PRÉCHAUFFAGE, FOUR COMPRENANT UN TEL MODULE DE PRÉCHAUFFAGE ET PROCÉDÉ DE DENSIFICATION ET DE CONSOLIDATION D'UNE PIÈCE AU MOYEN D'UN TEL MODULE DE PRÉCHAUFFAGE

Domaine technique de l'invention

L'invention a trait au domaine technique des modules de préchauffage destinés à équiper des fours pour la densification et la consolidation de pièces en matériau composite à matrice céramique (CMC), notamment à base de carbure. L'invention concerne également de tels fours. L'invention concerne enfin les procédés de densification et/ou consolidation d'une pièce en matériau composite à matrice céramique au moyen de tels modules de préchauffage.

Arrière-plan technique

De tels procédés de densification et/ou de consolidation sont par exemple utilisés dans le domaine de l'aéronautique afin de fabriquer des pièces capables de résister à de hautes températures. Cela est notamment le cas des pièces formant la ou les turbines d'une turbomachine d'aéronef, par exemple les secteurs des anneaux permettant de délimiter la périphérie externe d'une veine de turbine.

Les pièces en matériau CMC à base de carbure sont notamment proposées en alternative aux pièces à base d'alliages métalliques car elles présentent de meilleures propriétés mécaniques à haute température et pour une densité significativement moindre. Aux fins de la fabrication de ces pièces, un mélange de gaz réactifs est injecté dans le four, puis en se décomposant sur les surfaces chaudes desdites pièces, ces gaz réactifs forment un revêtement céramique dont la composition peut être contrôlée. Sur le plan opérationnel, la formation de la couche en céramique est mise en œuvre en opérant une densification puis une consolidation des pièces. Ces étapes sont généralement mises en œuvre par Infiltration en phase vapeur (« *Chemical Vapor Infiltration* » en anglais).

Avant d'être injectés dans le four et d'atteindre les pièces, le mélange de gaz doit être chauffé afin d'une part de prévenir une inhomogénéité du mélange de gaz et d'autre part d'éviter une inadéquation entre la composition souhaitée pour le mélange et la composition réellement obtenue. À cet égard, le mélange de gaz doit être préparé afin d'en assurer l'homogénéité et il doit en outre être porté à la bonne température afin d'obtenir un revêtement de composition appropriée.

Les figures 1a et 1b illustrent respectivement un four 1 puits et un four 1 cellulaire pour la consolidation et la densification de pièce en matériau CMC. Chaque four comprend un module de traitement 2 dans lequel les opérations de consolidation et densification de la(des) pièce(s) P sont mises en œuvre, un module d'appauvrissement 5 servant à capter la partie résiduelle du mélange de gaz et des sous-produits de réaction, ainsi qu'un module de préchauffage 10' servant à amener progressivement le mélange de gaz à la température souhaitée dans le module de traitement 2. À cet égard, chaque four 1 comprend, selon le cas, un ou plusieurs injecteurs 4 acheminant les réactifs à utiliser. Les réactifs peuvent ainsi, par le biais d'une entrée située au niveau d'une bordure inférieure 17' du module de préchauffage 10', être libérés dans le four 1. Tel qu'illustré sur la figure 1a, le four puits, dont la capacité est plus grande que le four cellulaire, peut avantageusement comporter plusieurs creusets 4.

Le module de préchauffage 10', le module de traitement 2 et le module d'appauvrissement sont empilés dans cet ordre depuis une bordure inférieure du four jusqu'à une bordure supérieure du four. Autrement dit, le module de préchauffage 10' est localisé en amont du module de traitement 2 et le module de traitement 2 est lui-même situé en amont du module d'appauvrissement 5 selon un axe X d'empilement du module de préchauffage 10', du module de traitement 2 et du module d'appauvrissement 5. Cet axe X d'empilement définit également la direction principale d'écoulement du mélange de gaz. À ce propos, le module de traitement 2 comprend une cavité 3 pour accueillir la(es) pièce(s) P. Comme illustré sur les figures 1a et 1b, le four puits se distingue du four cellulaire en ce qu'il comprend une cavité 3 comportant généralement plusieurs étages superposés selon l'axe X d'empilement. Dans l'exemple illustré sur la figure 1a, la cavité 3 comprend deux étages. La cavité du four cellulaire illustré à la figure 1b ne comprend qu'un seul étage, mais celle-ci peut comprendre plusieurs étages.

La figure 2a illustre plus précisément un module de préchauffage 10' connu de l'art antérieur. Ce module de préchauffage 10' peut être indifféremment utilisé dans un four puits ou un four cellulaire. Le module de préchauffage 10' selon l'art antérieur comprend une chambre de dispersion 11' du mélange de gaz et une chambre de diffusion 12' de ce mélange de gaz comme ceci est mieux visible à la figure 2a. La chambre de diffusion 12' est séparée de la chambre de dispersion 11' par une cavité 30' de transfert de la chaleur comportant une pluralité de parois horizontales espacées les unes des autres verticalement. La chambre de dispersion 11' comprend, au niveau de la bordure inférieure 17' du module de préchauffage, une entrée 25' ainsi qu'une ou plusieurs parois horizontales 22', espacées les unes des autres le long de l'axe X d'empilement, qui comportent une pluralité d'ouvertures permettant de disperser le mélange de gaz. Si l'homogénéité du mélange de gaz doit être améliorée, il faut augmenter le nombre de parois horizontales 22'. La chambre de diffusion 12', incluant la cavité

30' de transfert de la chaleur, comprend également une pluralité de parois ayant des ouvertures permettant de diffuser le mélange de gaz.

Ainsi, lorsque le mélange de gaz circule au sein du module de préchauffage 10', y compris au sein de la chambre de dispersion 11', il se déplace principalement verticalement, c'est-à-dire depuis la bordure inférieure 17' du module de préchauffage vers une bordure supérieure 18' du module de préchauffage, en empruntant les passages créés par les ouvertures. Ces déplacements du mélange de gaz à travers les ouvertures produisent ce qu'on appelle un « chicanage » du mélange de gaz, ce qui permet d'offrir à ce mélange de gaz une surface chaude lui permettant d'atteindre progressivement la température souhaitée, à savoir la température à laquelle on souhaite effectuer la consolidation et la densification du matériau CMC, par échanges de chaleur avec les surfaces des parois. Ces échanges sont efficaces lorsque le mélange de gaz diffuse de façon transverse par rapport au flux convectif, ce qui est favorisé lorsque le mélange de gaz se déplace à faible vitesse et faible débit. L'écoulement est généralement de type laminaire.

Ceci étant dit, dans de tels fours, le module de préchauffage 10' occupe un volume relativement important. Typiquement, le volume du module de préchauffage représente environ 20% du volume de l'empilement. Ceci s'explique par les dimensions respectives de la chambre de dispersion 11' et de la chambre de diffusion 12' dans la direction de l'empilement. En effet, la chambre de diffusion 12', incluant la cavité 30' de transfert de la chaleur, comprend également une pluralité de parois ayant des ouvertures permettant de diffuser le mélange de gaz. La chambre de diffusion 12' peut donc présenter une dimension jusqu'à trois fois supérieure à celle de la chambre de dispersion 11' dans l'axe d'empilement. Dans les fours puits, ceci est acceptable dans la mesure où les pièces peuvent être chargées sur les différents étages. Toutefois, les industriels sont contraints d'adapter les fours et notamment de réduire leurs dimensions, notamment selon l'axe d'empilement, afin de permettre une intégration plus aisée de ces fours dans des lignes de fabrication préexistantes. C'est dans ce contexte que les fours cellulaires, précédemment mentionnés, ont été développés.

L'invention vise à surmonter au moins une partie des problèmes précités et propose un module de préchauffage pour un four pour la consolidation et la densification de pièces en matériau CMC présentant des dimensions réduites dans la direction principale de déplacement du mélange de gaz et permettant un mélange de gaz amélioré malgré les dimensions réduites.

Les documents US 2017/002466 A1, US 6 572 371 B1, US 5 480 678 A, US 2007/275339 A1 et CN 109 400 198 A divulguent des modules de préchauffage pour un four. Toutefois, aucun de ces documents ne s'intéresse aux problèmes précités, notamment de

l'amélioration du mélange des gaz dans le module de préchauffage malgré ses dimensions réduites.

Résumé de l'invention

L'invention propose à cet effet un module de préchauffage pour un four, le module de préchauffage comprenant une chambre de dispersion et une chambre de diffusion disposée au-dessus de la chambre de dispersion et formant avec la chambre de dispersion un empilement le long d'un axe d'empilement, le module de préchauffage étant destiné à être traversé par un mélange de gaz se déplaçant selon ledit axe d'empilement depuis une bordure inférieure du module de préchauffage vers une bordure supérieure du module de préchauffage, la chambre de dispersion comprenant une unité d'éclatement du mélange de gaz comprenant une entrée située au niveau de la bordure inférieure et une pluralité de parois intérieures formant un chemin d'écoulement du mélange de gaz, et la chambre de diffusion du mélange de gaz étant située en aval de la chambre de dispersion dans le sens de circulation du mélange de gaz, et comportant une paroi de transfert de la chaleur séparant cette chambre de diffusion de la chambre de dispersion, le chemin d'écoulement du mélange de gaz s'étendant principalement selon des directions d'axes longitudinal et transversal orthogonaux à l'axe d'empilement, et la dimension de la chambre de diffusion le long de l'axe d'empilement ne différant pas de plus de 20% par rapport à la dimension de la chambre de dispersion le long de cet axe d'empilement.

Le module de préchauffage est caractérisé en ce que chaque paroi intérieure comprend une pluralité d'ailettes s'étendant depuis au moins une surface de cette paroi intérieure, chaque ailette faisant un angle ouvert avec la paroi intérieure associée dans les directions principales d'écoulement du mélange de gaz au sein de l'unité d'éclatement.

Ainsi, contrairement aux modules de préchauffage connus, le module de préchauffage selon l'invention présente une dimension significativement réduite selon l'axe d'empilement. En effet, lorsque le mélange de gaz pénètre dans l'unité d'éclatement et circule dans le chemin d'écoulement, il peut s'écouler principalement selon les directions d'axe longitudinal et d'axe transversal et donc orthogonalement à la direction principale de déplacement. Autrement dit, les composantes principales du déplacement du mélange de gaz sont les composantes de déplacement selon l'axe longitudinal et l'axe transversal. La dispersion du mélange de gaz s'effectue donc principalement orthogonalement à l'axe d'empilement au lieu de s'effectuer selon cet axe d'empilement. Cela permet de réduire significativement les dimensions de la chambre de dispersion le long de l'axe d'empilement.

En outre, en plus de pouvoir réduire les dimensions de la chambre de dispersion, il est également possible de réduire les dimensions de la chambre de diffusion. En effet, comme la chambre de dispersion comprend une pluralité de parois intérieures, de nombreux échanges de chaleur s'y produisent, ce qui permet d'accroître le potentiel d'échanges thermiques du mélange de gaz dans la chambre de dispersion en comparaison des fours de l'art antérieur. Incidemment, il est possible de réduire la surface nécessaire aux échanges thermiques dans l'axe d'empilement, ce qui permet de réduire la cavité de transfert à une simple paroi de transfert de la chaleur. En effet, comme précédemment mentionné, les modules de préchauffage de l'art antérieur comprennent une cavité servant à offrir de la surface de contact pour les échanges de chaleur qui sépare la chambre de dispersion et la chambre de diffusion. Or, cette cavité comprend une pluralité de parois horizontales espacées les unes des autres, ce qui augmente la dimension du module de préchauffage dans l'axe d'empilement. Ainsi, la chambre de diffusion peut présenter, le long de l'axe d'empilement, des dimensions comparables à celles de la chambre de dispersion.

Les ailettes permettent d'améliorer encore plus le mélange des gaz injectés dans l'unité d'éclatement. Chacune d'elles fait un angle ouvert avec la paroi intérieure associée dans les directions principales d'écoulement, ce qui permet au mélange de gaz de conserver une vitesse d'écoulement appropriée au sein de l'unité d'éclatement tout en améliorant le processus de mélange.

Selon différentes caractéristiques de l'invention qui pourront être prises ensemble ou séparément :

- un rapport entre une longueur du chemin d'écoulement et une dimension du module de préchauffage, le long de l'axe longitudinal et/ou de l'axe transversal est compris entre 4 et 150 ;

- les parois intérieures sont séparées les unes par rapport aux autres par une distance comprise entre 20 mm et 100 mm ;

- l'unité d'éclatement comprend au moins un étage délimité, le long de l'axe d'empilement, par une première paroi périphérique et une deuxième paroi périphérique, les parois intérieures s'étendant entre la première paroi périphérique et la deuxième paroi périphérique orthogonalement auxdites première et deuxième parois périphériques ;

- le module de préchauffage comprend au moins une paroi latérale s'étendant autour de l'axe d'empilement, ladite paroi latérale comprenant au moins deux portions diamétralement opposées, et dans lequel une première série de parois intérieures s'étend depuis une première portion de la paroi latérale et une deuxième série de parois intérieures s'étend depuis une deuxième portion de la paroi latérale, les parois intérieures de la

première série et les parois intérieures de la deuxième série étant agencées parallèlement les unes par rapport aux autres en alternance une à une ;

- les parois intérieures comprennent deux parois distales d'un centre de la première paroi périphérique, les parois distales comportant une pluralité d'ouvertures ;

5 – les parois intérieures sont agencées en forme de spirale ;

- une troisième série de parois intérieures s'étend depuis la première paroi périphérique et une quatrième série de parois intérieures s'étend depuis la deuxième paroi périphérique, les parois intérieures de la troisième série et les parois intérieures de la quatrième série étant agencées parallèlement les unes par rapport aux autres en alternance une à une ;

10

- la paroi de transfert comprend une pluralité de premières ouvertures occupant 20% à 35%, non inclus, d'une surface totale de la paroi de transfert ;

- la chambre de diffusion comprend une pluralité de parois de diffusion, chaque paroi de diffusion comportant des secondes ouvertures occupant 35% à 50% d'une surface totale des parois de diffusion, de préférence entre 40% et 60% d'une surface totale des parois de diffusion.

15

L'invention concerne également un four pour la consolidation et la densification d'une pièce en matériau composite à matrice céramique, le four comprenant un module de traitement comportant une cavité pour accueillir cette pièce, et un module de préchauffage tel que précédemment décrit, le module de préchauffage étant situé sous le module de traitement et formant avec le module de traitement un second empilement selon l'axe d'empilement.

20

L'invention concerne en outre un procédé de consolidation et de densification d'une pièce composite à matrice céramique mis en œuvre au moyen d'un four tel que précédemment décrit, le procédé comprenant les étapes suivantes dans cet ordre :

25

110) fournir un four tel que précédemment décrit,

120) attendre que la température dans l'unité d'éclatement atteigne une valeur comprise entre -100°C et -200°C par rapport à une température souhaitée dans le module de traitement et la température dans la chambre de diffusion à une valeur comprise entre -30°C et -5°C par rapport à la température souhaitée dans le module de traitement,

30

130) concomitamment ou subséquent à l'étape 120), injecter le mélange de gaz dans le four et attendre jusqu'à ce qu'il atteigne la température souhaitée.

Brève description des figures

D'autres objets, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement dans la description qui suit, faite en référence aux figures annexées, dans lesquelles :

35

- la figure 1a est une vue schématique en coupe d'un four puits,
- la figure 1b est une vue schématique en coupe d'un four cellulaire,
- la figure 2a est une vue schématique en coupe d'un module de préchauffage connu de l'art antérieur,

5 - la figure 2b est une vue schématique en coupe d'un module de préchauffage selon un mode de réalisation de l'invention,

 - la figure 2c est une vue schématique en coupe d'un module de préchauffage selon l'invention,

10 - la figure 3 est une vue schématique de dessus d'un premier exemple d'unité d'éclatement pour un module de préchauffage selon un mode de réalisation de l'invention,

 - la figure 4 est une vue schématique de dessus d'un deuxième exemple d'unité d'éclatement pour un module de préchauffage selon l'invention,

 - la figure 5 est une vue schématique de dessus d'un troisième exemple d'unité d'éclatement pour un module de préchauffage selon l'invention,

15 - la figure 6 est une vue schématique en coupe d'un quatrième exemple d'unité d'éclatement pour un module de préchauffage selon l'invention,

 - la figure 7 est une vue schématique d'un procédé de consolidation et de densification d'une pièce en matériau CMC selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

20 Dans la présente description, les termes « supérieur(e)(s) », « inférieur(e)(s) » n'ont pas de caractère limitatif et servent simplement à mieux comprendre l'invention en référence aux figures illustrées. L'utilisation du terme « inférieur » indique simplement que l'élément considéré est plus proche d'une bordure inférieure, par exemple du four, en comparaison d'un élément auquel est associé le terme « supérieur ». Par exemple, « une bordure inférieure du

25 module de préchauffage » désigne une partie du module de préchauffage plus proche de la bordure inférieure du four selon l'invention.

 Lorsqu'il est indiqué qu'un premier élément est en « amont » d'un deuxième élément cela signifie que le premier élément est situé avant le deuxième élément par rapport au sens de circulation, ou de parcours, du mélange de gaz. De même, lorsque le terme « aval » est

30 utilisé pour décrire le positionnement d'un élément par rapport à un autre élément, cela signifie que le premier des éléments considérés est situé après l'autre des éléments par rapport au sens de circulation, ou de parcours, du mélange de gaz.

 En référence aux figures 1a, 1b et 2b, l'invention concerne un four 1 pour la consolidation et la densification d'une pièce P en matériau composite à matrice céramique.

35 Les fours illustrés aux figures 1a et 1b et décrits au préambule de cette description sont,

respectivement, un four puits et un four cellulaire. Un module de préchauffage 10, également objet de la présente invention, qui sera décrit dans la suite est aussi bien adapté à un four puits, tel que celui de la figure 1a, qu'à un four cellulaire, tel qu'illustré à la figure 1b. Le module de préchauffage 10 est également adapté à d'autres types de fours qui ne sont pas mentionnés dans la présente description et qui sont utilisés pour la consolidation et la densification de pièces en matériau CMC. De préférence, le four est apte à être mis sous vide.

Avant de détailler plus précisément ce module de préchauffage 10 et comme mentionné précédemment, le four 1 comprend un module de traitement 2 dans lequel les opérations de consolidation et densification de la(des) pièce(s) P sont mises en œuvre, un module d'appauvrissement 5 servant à capter la partie résiduelle du mélange de gaz et des sous-produits de réaction, ainsi que le module de préchauffage 10, ce dernier servant à amener progressivement le mélange de gaz à la température souhaitée dans le module de traitement 2.

Le module de préchauffage 10, le module de traitement 2 et le module d'appauvrissement 5 sont empilés dans cet ordre depuis une bordure inférieure du four 1 jusqu'à une bordure supérieure de ce four 1. Autrement dit, le module de préchauffage 10 est situé sous le module de traitement 2, ce dernier étant lui-même situé sous le module d'appauvrissement 5 depuis la bordure inférieure du four 1. Plus précisément, le mélange de gaz circule depuis une bordure inférieure 17 du module de préchauffage jusqu'à une bordure supérieure 18 de ce module de préchauffage en traversant les différentes zones du module de préchauffage 10.

Le mélange de gaz est composé de plusieurs gaz réactifs. La réactivité des gaz peut venir de plusieurs facteurs connus de l'homme du métier. Elle peut, par exemple, être renforcée par les températures auxquelles sont chauffés ces gaz au sein du module de préchauffage 10. Dans le cadre de la présente invention, le mélange de gaz n'est pas limité à un type de précurseur particulier. Il convient simplement de choisir un mélange de gaz approprié pour l'application visée. À ce propos, selon une application de l'invention, la pièce P est en matériau composite à matrice céramique à base de carbure. Par exemple, la pièce P peut être en carbure de silicium (SiC), en nitrure de bore (BN), en carbone, ou encore en SiBN. Dans tous les cas, il convient d'utiliser des gaz réactifs appropriés pour la consolidation et la densification de la pièce dans le matériau dont est fait cette pièce.

Le module de préchauffage 10 selon l'invention comprend une chambre de dispersion 11 et une chambre de diffusion 12 disposée au-dessus de la chambre de dispersion 11 et formant avec la chambre de dispersion 11 un empilement selon un axe X d'empilement. Cet axe X d'empilement définit également la direction principale d'écoulement du mélange de gaz

dans le four 1 et l'axe d'empilement du module de préchauffage, du module de traitement 2 et du module d'appauvrissement 5. La chambre de diffusion 12 est située en aval de la chambre de dispersion 11 dans le sens de circulation du mélange de gaz. La chambre de diffusion 12 comprend une paroi 30 de transfert de la chaleur qui la sépare de la chambre de dispersion 11. Nous y reviendrons plus en détail dans la suite.

La chambre de dispersion 11 a pour rôle de disperser les gaz afin de permettre un premier mélange de ces gaz. Les gaz ne pénètrent donc pas nécessairement sous forme de mélange de gaz dans la chambre de dispersion 11 et peuvent n'être mélangés qu'à l'intérieur de cette chambre de dispersion 11. La chambre de dispersion 11 a également pour fonction d'homogénéiser le mélange gaz. Cela améliore le chauffage du mélange de gaz, c'est-à-dire que la mise en température dudit mélange de gaz est facilitée. En sortant de la chambre de dispersion 11, les gaz sont donc non seulement sous forme de mélange mais encore sous forme d'un mélange homogène. À cet égard, la chambre de dispersion 11 comprend une unité 20 d'éclatement du mélange de gaz permettant de mélanger et homogénéiser les gaz.

L'unité 20 d'éclatement est munie d'une entrée 25 située au niveau de la bordure inférieure 17 du module de préchauffage. C'est par l'entrée 25 que les gaz ou le mélange de gaz, selon le cas, pénètre(nt) dans le four 1 selon l'invention. Comme mentionné précédemment, le four 1 comprend un ou plusieurs injecteurs 4 contenant les réactifs nécessaires au procédé de consolidation et de densification de la pièce. Les réactifs sont généralement apportés dans le four sous une forme gazeuse à température ambiante. Les réactifs sont plus précisément injectés dans l'unité 20 d'éclatement par le biais de l'entrée 25 afin d'y être mélangés de manière homogène.

Dans l'exemple de réalisation illustré sur la figure 2b, l'entrée 25 consiste en une unique ouverture formée dans la bordure inférieure 17 du module de préchauffage. Toutefois, l'entrée 25 peut être formée d'une pluralité d'ouvertures. Le nombre, la forme et les dimensions des ouvertures ne sont pas limitatifs dans le cadre de l'invention. Ceci étant dit, comme nous le verrons par la suite, il est préférable que les dimensions de l'ouverture ou des ouvertures formant l'entrée 25 soient choisies de sorte à permettre que les réactifs pénètrent dans l'unité 20 d'éclatement avec une vitesse comprise entre 0,1 m/s (mètre par seconde) et 10 m/s, de préférence entre 0,1 m/s et 2 m/s. Ceci confère en effet au mélange de gaz une cinétique de déplacement appropriée au sein de l'unité 20 d'éclatement.

L'unité 20 d'éclatement comprend une pluralité de parois intérieures 22 qui forment un chemin 21 d'écoulement du mélange de gaz. Le chemin 21 d'écoulement est un passage formé dans l'unité 20 d'écoulement qui permet de guider le mélange de gaz depuis l'entrée 25 de l'unité d'éclatement jusqu'à une sortie 26 de cette unité d'éclatement. Le chemin 21 balise

donc le trajet du mélange de gaz lorsqu'il circule au sein de l'unité 20 d'éclatement. Au-delà de ces considérations, le chemin 21 est configuré pour disperser le mélange de gaz lorsqu'il circule au sein de l'unité 20 d'éclatement, ce que nous évoquerons plus en détail par la suite.

Dans l'exemple de réalisation illustré sur la figure 2b, l'unité 20 d'éclatement comprend un étage 20a délimité, le long de l'axe X d'empilement, par une première paroi périphérique 23 et une deuxième paroi périphérique 24 entre lesquelles s'étendent les parois intérieures 22. Ceci étant dit, l'unité 20 d'éclatement peut comporter une pluralité d'étages 20a, 20b,... tel que cela est illustré sur la figure 2c, les étages étant situés les uns à la suite des autres selon l'axe X d'empilement. Dans cette configuration, l'unité 20 d'éclatement comprend des parois intermédiaires 23i entre chaque étage 20a, 20b,... qui forment la limite physique entre chaque étage.

De préférence, les parois intermédiaires 23i présentent les mêmes dimensions longitudinale et transversale que les première 23 et deuxième 24 parois périphériques. De préférence également, la configuration, à savoir l'agencement des parois intérieures 22, est identique d'un étage à l'autre. Ceci permet notamment de simplifier le procédé de fabrication du module de préchauffage 10. Toutefois, cela n'est pas obligatoire. En outre, il est préférable que le nombre d'étages dans l'unité 20 d'éclatement n'excède pas deux, ce qui permet d'avoir un bon compromis entre l'obtention d'un mélange de gaz suffisant et homogène d'une part et une hauteur du module de préchauffage 10, la hauteur du module de préchauffage 10 étant sa dimension selon l'axe X d'empilement. Il est préférable, de conserver une hauteur d'au moins 20 mm pour chaque étage afin de permettre un écoulement suffisant du mélange de gaz dans le chemin 21 tout en favorisant les échanges thermiques.

Dans l'exemple de réalisation illustré, les parois intérieures 22 distales sont continues, c'est-à-dire qu'elles ne comprennent pas d'ouvertures. Le mélange de gaz passe d'un étage à l'autre au moyen d'ouvertures 22f situées à proximité des extrémités des parois intermédiaires 23i. Le mélange de gaz parcourt donc la quasi-totalité de l'étage amont, i.e. l'étage inférieur, avant d'atteindre l'étage aval, étage supérieur. En outre, il ne peut sortir de l'étage supérieur que par une ouverture distale 24a des ouvertures 22f de l'étage inférieur. Dans l'exemple de réalisation illustré, l'ouverture distale 24a est pratiquée au centre de la deuxième paroi périphérique 24, ce qui permet au mélange de parcourir de nouveau le chemin 21 de l'étage supérieur avant de sortir de l'unité 20 d'éclatement.

Comme illustré sur la figure 2b, il est avantageux de laisser un passage entre l'étage 20a et la paroi 30 de transfert afin que le mélange de gaz puisse atteindre la chambre de diffusion 12 depuis l'unité 20 d'éclatement. Lorsque l'unité 20 d'éclatement comporte plusieurs étages 20a, 20b...il convient de laisser un écart suffisant entre le dernier étage et la paroi 30

de transfert le long de l'axe X d'empilement, le dernier étage étant l'étage aval de l'unité 20 d'éclatement dans le sens de circulation du gaz. De préférence, l'écart entre le dernier étage de l'unité 20 d'éclatement et la paroi 30 de transfert le long de l'axe X d'empilement est supérieur ou égal à 20 mm.

5 Selon l'invention, le chemin 21 d'écoulement du mélange de gaz s'étend principalement selon des directions d'axes longitudinal Y et transversal Z, l'axe longitudinal Y et l'axe transversal Z étant orthogonaux à l'axe X d'empilement. Ceci peut être mieux vu sur les figures 3 à 5 illustrant une vue de dessus en coupe de l'intérieur de l'unité 20 d'éclatement selon des variantes de réalisation du module de préchauffage 10 selon l'invention. Dans ces
10 différentes variantes de réalisation qui seront décrites plus en détail dans la suite, les parois intérieures 22 sont agencées de sorte que le chemin 21 d'écoulement du mélange de gaz s'étende principalement orthogonalement à l'axe X d'empilement.

Ainsi, le mélange de gaz, contraint de suivre le chemin 21, s'écoule principalement selon des directions orthogonales à l'axe X d'empilement. Autrement dit, les composantes
15 principales du déplacement tridimensionnel du mélange de gaz sont définies selon l'axe longitudinal Y et l'axe transversal Z. Dans ces conditions, on sollicite donc essentiellement le volume « horizontal » de l'unité 20 d'éclatement pour effectuer le mélange et l'homogénéisation du mélange de gaz au lieu de son volume « vertical ». Plutôt que d'augmenter le nombre de parois le long de l'axe X d'empilement pour améliorer la dispersion
20 et l'homogénéisation des gaz, il est possible d'augmenter le nombre de parois intérieures 22 le long de l'axe longitudinal Y ou de l'axe transversale Z. De meilleurs résultats peuvent également être obtenus en termes de mélange et d'homogénéisation du mélange de gaz en comparaison de l'art antérieur car le chemin 21 à parcourir peut être significativement allongé, ceci sans nuire aux dimensions du module de préchauffage 10, et subséquemment du four 1
25 dans l'axe X d'empilement. Comme les gaz sont mieux mélangés et en outre de manière plus homogène, le mélange de gaz est en mesure de chauffer plus rapidement que dans les fours de l'art antérieur.

Toujours selon l'invention, la dimension de la chambre de diffusion 12 le long de l'axe X d'empilement ne diffère pas de plus de 20% par rapport à la dimension de la chambre de
30 dispersion 11 le long de cet axe d'empilement. En effet, la dimension de la chambre de diffusion 12 le long de l'axe X d'empilement peut être significativement réduite dans la mesure où, comme indiqué précédemment, le mélange de gaz peut être chauffé plus rapidement. Ceci a pour conséquence directe de permettre une réduction de la surface utile, c'est-à-dire de l'aire utile, au chauffage du mélange de gaz. La chambre de diffusion 12 peut donc présenter
35 beaucoup moins de parois que ce soit au niveau de la zone de transfert (paroi 30 de transfert)

de la chaleur que dans la zone de diffusion (parois de diffusion 35). Dans l'invention, la zone de transfert de la chaleur peut donc être réduite à une paroi 30 de transfert au lieu d'avoir une cavité 30' de transfert de la chaleur comprenant une pluralité de parois de transfert. La dimension de la chambre de diffusion 12 peut donc être divisée par trois en comparaison de la dimension des chambres de diffusion 12' connues de l'art antérieur.

De manière très avantageuse, un rapport entre une longueur du chemin 21 d'écoulement et une dimension du module de préchauffage, le long de l'axe longitudinal Y et/ou de l'axe transversal Z est compris entre 4 et 150. On entend par « longueur du chemin 21 » la distance sur laquelle s'étend le chemin 21 d'écoulement en tenant compte des tortuosités effectuées par celui-ci. On entend par « tortuosités » les différents changements de direction effectués par le chemin 21 d'écoulement en l'absence de discontinuité, c'est-à-dire de rupture dans ledit chemin 21. La longueur du chemin 21 d'écoulement appropriée dépend des dimensions du module de préchauffage 10, si bien qu'il convient d'adapter la longueur du chemin 21 selon les dimensions du module de préchauffage.

Dans cette gamme de valeurs, le mélange de gaz est contraint d'opérer au moins un changement de direction en se déplaçant à l'intérieur de l'unité 20 d'éclatement. En pratique, dans cette gamme de valeurs, le mélange de gaz subit plusieurs changements de direction en circulant au sein de l'unité 20 d'éclatement, ce qui augmente le temps de séjour du mélange de gaz dans l'unité 20 d'éclatement et favorise donc encore plus les mélanges de gaz. En outre, plus le temps de séjour du mélange de gaz dans l'unité 20 d'éclatement est long plus le mélange de gaz obtenu est homogène. Par exemple, si le nombre et la nature des réactifs le justifient, il convient de choisir un chemin 21 de longueur élevée en tenant compte des dimensions globales du module de préchauffage 10. L'homme du métier adaptera donc la longueur du chemin 21 selon ces paramètres.

L'homogénéisation du mélange de gaz peut être poursuivie à la sortie de l'unité 20 d'éclatement. À cet égard, des parois intérieures 22 distales de l'entrée 25 peuvent comporter une pluralité d'ouvertures 22e. Les ouvertures 22e permettent en effet de gérer les pertes de charge en sortie de l'unité 20 d'éclatement. Sur la figure 2b qui ne présente une vue en coupe, on distingue une de ces ouvertures 22e. Les parois intérieures 22 distales sont les parois intérieures 22 les plus éloignées de l'entrée 25 par laquelle le mélange de gaz pénètre dans l'unité 20 d'éclatement. Dans l'exemple de réalisation illustré sur la figure 2b, ces parois intérieures 22 distales sont les parois intérieures 22 externes par rapport à la position centrale de l'entrée 25. Toutefois, l'entrée 25 n'occupe pas nécessairement une position centrale dans le module de préchauffage 10 et, de même, les parois intérieures 22 distales ne sont pas nécessairement les parois intérieures 22 externes.

Comme ceci est mieux visible sur la figure 2b, les parois intérieures 22 s'étendent entre la première 23 paroi périphérique et la deuxième 24 paroi périphérique orthogonalement auxdites première 23 et deuxième 24 parois périphériques. Les parois intérieures 22 de l'unité 20 d'éclatement s'étendent donc en l'espèce verticalement – au contraire des parois horizontales 22' de la chambre de dispersion 11' connue de l'art antérieur – sur toute la hauteur de l'étage 20a de l'unité d'éclatement. Précisons que la hauteur de l'étage 20a correspond à la distance séparant la première paroi périphérique 23 et la deuxième paroi périphérique 24.

Lorsqu'il y a plusieurs étages 20a, 20b,... comme illustré sur la figure 2c, il importe alors qu'à chaque étage les parois intérieures 22 s'étendent entre les parois délimitant cet étage. Cela peut être, selon le cas, entre la première paroi périphérique 23 et une des parois intermédiaires 23i ou entre deux parois intermédiaires 23i ou entre une des parois intermédiaires 23i et la deuxième paroi périphérique 24. En outre, comme cela peut être bien compris, il s'agit ici des parois intérieures 22 à l'exception des parois intérieures 22 distales de l'entrée lorsque ces dernières sont perforées, c'est-à-dire comprennent une pluralité d'ouvertures 22e, puisque par nature ces parois intérieures 22 distales ne s'étendent pas sur toute la hauteur de l'étage 20a ou de chaque étage.

Le fait, comme décrit ci-dessus, que les parois intérieures 22 s'étendent sur toute la hauteur de l'unité 20 d'éclatement permet de favoriser un écoulement laminaire dans lequel les contraintes de cisaillement sont imposées par les tortuosités du chemin 21. Ainsi le mélange et l'homogénéisation du mélange de gaz sont ajustables par la longueur du chemin 21 et le trajet imposé au mélange de gaz par le chemin 21 et peu, voire pas, dépendants des propriétés à la surface des parois intérieures 22 elles-mêmes. Autrement dit, la continuité des parois intérieures 22 sur la hauteur de l'étage 20a permet que le contrôle de la dynamique d'écoulement du mélange de gaz dans l'unité 20 d'éclatement puisse être assuré par les tortuosités du chemin 21. De même, la rugosité et les textures des surfaces de ces parois intérieures 22 pourraient également jouer un rôle sur cette dynamique d'écoulement. Dans le cas d'espèce, la dynamique d'écoulement est peu dépendante de la rugosité ou de la texture des surfaces car les phénomènes se produisant au niveau macroscopique, compte-tenu des tortuosités du chemin 21, sont prépondérants.

À ce propos, selon un aspect de l'invention, chacune des parois intérieures comprend une pluralité d'ailettes 27 s'étendant depuis au moins une surface de cette paroi intérieure. De telles ailettes sont par exemple visibles sur la figure 4. Elles permettent d'améliorer encore plus le mélange des gaz injectés dans l'unité 20 d'éclatement. Les ailettes 27 se présentent sous la forme de saillies s'étendant de manière oblique depuis les surfaces des parois intérieures 22. Plus précisément, chaque ailette 27 fait un angle ouvert avec la paroi 22

intérieure à laquelle elle est associée dans les directions principales d'écoulement du mélange de gaz au sein de l'unité 20 d'éclatement.

Chacune d'elles fait un angle ouvert avec la paroi intérieure associée dans les directions principales d'écoulement, ce qui permet au mélange de gaz de conserver une
5 vitesse d'écoulement appropriée au sein de l'unité d'éclatement tout en améliorant le processus de mélange. En effet, une vitesse d'écoulement trop faible augmenterait la durée de préchauffage, ce qui impacterait la durée du procédé de densification et consolidation mis en œuvre avec le four 1. Une vitesse d'écoulement trop élevée ne permettrait pas d'obtenir
10 suffisamment d'échange, ce qui ne permettrait donc pas d'atteindre la température souhaitée en sortie du module de préchauffage 10. La présence des ailettes 27 et leur positionnement respectif vis-à-vis de la paroi intérieure, i.e. avec un angle ouvert dans les directions principale d'écoulement, permet donc de trouver un compromis entre vitesse d'écoulement du mélange et amélioration du mélange des gaz. À ce propos, précisons à ce stade que le mélange des
15 gaz est amélioré en ce que le processus de mélange débouche sur une meilleure homogénéisation des gaz du mélange.

Comme illustré sur la figure 4, les ailettes 27 peuvent s'étendre au choix depuis les deux surfaces d'une paroi intérieure 22 comme ne s'étendre que depuis l'une des surfaces d'une paroi intérieure 22. Ce choix est effectué ab initio, c'est-à-dire au moment de la conception du module de préchauffage 10 selon l'invention, en fonction des contraintes
20 dimensionnelles, notamment selon l'axe longitudinal Y et/ou selon l'axe transversal X, pour la fabrication dudit module de préchauffage.

Il convient de préciser que lorsque l'on parle des surfaces des parois intérieures 22, comme c'est le cas ci-dessus, il est question des deux grandes surfaces des parois intérieures 22. Ces surfaces sont « grandes » par opposition aux quatre surfaces latérales des parois
25 intérieures 22, ces surfaces latérales présentant chacune au moins une dimension plus petite que les autres qui correspond notamment à l'épaisseur de la paroi intérieure 22 associée. Les grandes surfaces sont directement balayées par le mélange de gaz contrairement aux quatre surfaces latérales.

De préférence, les parois intérieures 22 sont séparées les unes par rapport aux autres
30 par une distance ou un écart compris entre 20 mm et 100 mm, ce qui permet d'assurer des surfaces d'échanges thermiques entre le mélange de gaz et les surfaces solides des parois intérieures 22. Ces distances peuvent varier selon les dimensions générales du module de préchauffage. Un écart trop faible peut mener à une obturation prématurée du chemin 21 et des phénomènes de pertes de charge peuvent se produire. Dans une telle situation, il peut
35 être difficile d'atteindre la pression appropriée dans le four 1. Un écart trop élevé rend les

échanges de chaleur entre le mélange de gaz et les parois intérieures 22 moins efficaces. De préférence, les parois intérieures 22 sont séparées les unes par rapport aux autres par une distance comprise entre 40 mm et 60 mm, ce qui représente un bon compromis entre le risque d'obturation du chemin 21 et l'efficacité des échanges de chaleur.

5 Pour les mêmes raisons, la première paroi périphérique 23 et la deuxième paroi périphérique 24 sont préférentiellement séparées par une distance d_1 comprise entre 20 mm et 100 mm, et plus préférentiellement entre 40 mm et 60 mm.

Dans les sections qui suivent, nous décrivons différentes variantes de réalisation de l'unité 20 d'éclatement. Ces variantes de réalisation ne sont que des exemples et l'invention
10 n'est nullement limitée par les configurations illustrées.

À titre préliminaire, en ce qui concerne les modes de réalisation illustrés sur les figures 2b à 6, précisons que le module de préchauffage 10 comprend au moins une paroi latérale 13 s'étendant autour de l'axe principal X, cette paroi latérale 13 comprenant préférentiellement au moins deux portions 13a, 13b diamétralement opposées. Dans les modes de réalisation
15 illustrés, la paroi latérale 13 présente une forme parallélépipédique en vue de coupe. Toutefois ce n'est pas obligatoire et la paroi latérale 13 peut tout à fait présenter une section d'une autre forme, par exemple une section circulaire. Quelle que soit la forme retenue, et comme indiqué ci-avant, la paroi peut, de préférence, comprendre au moins une première portion 13a et une deuxième portion 13b diamétralement opposée à la première portion 13b.

20 Selon une première variante de réalisation illustrée à la figure 3, une première série de parois 22a intérieures s'étend depuis la première portion 13a de la paroi latérale et une deuxième série de parois 22b intérieures s'étend depuis une deuxième portion 13b de la paroi latérale, les parois 22a intérieures de la première série et les parois 22b intérieures de la deuxième série étant agencées parallèlement les unes par rapport aux autres en alternance
25 une à une. Autrement dit, les parois 22a intérieures de la première série et les parois intérieures 22b de la deuxième série sont parallèles et agencées de sorte qu'une paroi intérieure de l'une des séries soit interposée entre deux parois intérieures successives de l'autre des séries, à l'exception bien-sûr des parois intérieures 22 distales. Dans l'exemple illustré, chaque série comprend au total quatre parois intérieures 22a, 22b respectivement.
30 Cela forme un chemin 21 dans lequel des demi-boucles sensiblement en forme de U se succèdent. Cette configuration permet d'obtenir un chemin 21 qui est à la fois compact et qui favorise les échanges thermiques.

L'unité 20 d'éclatement illustrée à la figure 4 ne diffère substantiellement de celle illustrée à la figure 3 qu'en ce que les parois intérieures 22 comprennent des ailettes 27, ce
35 qui comme vu précédemment, favorise encore plus les échanges thermiques. Comme

également illustré sur les figures 3 et 4, l'entrée 25 occupe une position sensiblement centrale sur la première paroi périphérique 23, si bien que les parois intérieures 22a de la première série et les parois intérieures 22b de la deuxième série sont disposées de chaque côté de celle-ci. Dans cette configuration, il y a en pratique deux chemins 21 dans lesquels le mélange
5 de gaz circule en effectuant les mêmes trajets mais selon des directions longitudinales et transversales opposées.

Selon une deuxième variante de réalisation illustrée à la figure 5, les parois intérieures 22 sont agencées en forme de spirale ou encore de labyrinthe. Cette configuration présente l'avantage d'offrir un chemin 21 de longueur plus élevée que la configuration vue en référence
10 à la première variante de réalisation. En effet, il y a moins d'espace perdu autour de la zone centrale de la première paroi périphérique 23, qui dans ce mode de réalisation est occupé par la sortie 26 de l'unité 20 d'éclatement. Ainsi, le mélange de gaz parcourt un trajet plus long, ce qui permet de favoriser encore plus le mélange et l'homogénéisation des gaz entre l'entrée 25 et la sortie 26. À ce propos, dans ce mode de réalisation, l'entrée 25 est positionnée à une
15 extrémité de l'unité 20 d'éclatement, tandis que comme indiqué ci-dessus la sortie 26 occupe une position centrale. Cela permet de faciliter la mise en œuvre du profil labyrinthe du chemin 21.

Selon une troisième variante de réalisation illustrée à la figure 6, une troisième série de parois 22c intérieures s'étend depuis la première paroi périphérique 23 et une quatrième
20 série de parois 22d intérieures s'étend depuis la deuxième paroi périphérique 24, les parois 22c intérieures de la première série et les parois 22d intérieures de la deuxième série étant agencées parallèlement les unes par rapport aux autres en alternance une à une. Cette configuration ne diffère de celle vue dans la première variante qu'en ce qu'au lieu de s'étendre depuis les première et deuxième portions 13a, 13b de la paroi latérale, les parois intérieures
25 22 s'étendent depuis les première 23 et deuxième 24 parois périphériques.

Ainsi, les parois 22c intérieures de la troisième série et les parois intérieures 22d de la quatrième série sont parallèles et agencées de sorte qu'une paroi intérieure de l'une des séries soient interposées entre deux parois intérieures successives de l'autre des séries, à l'exception bien-sûr des parois intérieures 22 distales. Dans l'exemple illustré, chaque série
30 comprend au total huit parois intérieures 22a, 22b respectivement. Cela forme un chemin 21 dans lequel des demi-boucles sensiblement en forme de U se succèdent. Cette configuration permet d'obtenir un chemin 21 qui est à la fois compact et qui favorise les échanges thermiques.

Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, le rapport entre la surface
35 créée d'une part par les parois intérieures 22, les parois périphériques 23, 24 et, le cas

échéant, les parois intermédiaires 23i et d'autre part par le volume de l'unité 20 d'éclatement est compris entre 3,1 et 3,3. Il convient de noter, à ce stade, que ce rapport est compris entre 3 et 4 dans les chambres de dispersion 11' connues de l'art antérieur. Cela confère une très grande efficacité à l'unité 20 d'éclatement et plus généralement au four 1. En effet, le rapport
5 entre surfaces d'échanges thermiques et volume global de la zone de préchauffage est abaissé. Dans un volume plus faible, on conserve un échange de chaleur au niveau approprié, voire à un niveau supérieur. Ce rapport pourra même être plus faible encore selon les modalités de conception.

Lorsque le mélange de gaz quitte l'unité 20 d'éclatement, les échanges de chaleur
10 doivent avantageusement se poursuivre efficacement avec la paroi 30 de transfert. À cet égard, la paroi 30 de transfert comprend une pluralité de premières ouvertures 31 occupant 20% à 35%, non inclus, de sa surface totale. Ainsi, la paroi 30 de transfert permet au mélange de continuer son trajet jusqu'à la chambre de diffusion 12 tout en ayant une surface utile suffisante pour effectuer des échanges thermiques avec le mélange de gaz. Comme cela sera
15 vu dans la suite, l'écart entre la température de la paroi 30 de transfert et la température souhaitée dans le module de traitement 2 est plus faible que l'écart entre la température dans l'unité 20 d'éclatement et la température souhaitée dans le module de traitement 2.

De manière avantageuse, la chambre de diffusion 12 peut à cet égard comprendre une pluralité de parois 35 de diffusion, chaque paroi 35 de diffusion comportant des secondes
20 ouvertures 36 occupant 35% à 50% d'une surface totale des parois 35 de diffusion, de préférence entre 40% et 60% d'une surface totale des parois 35 de diffusion. Ainsi, lorsque le mélange de gaz arrive dans la chambre de diffusion 12, il peut être diffusé de manière homogène jusqu'au module de traitement 2.

L'invention concerne également un procédé 100 de consolidation et de densification
25 d'une pièce P composite à matrice céramique mis en œuvre au moyen d'un four tel que décrit précédemment. Avant de décrire le procédé plus en détail, dans la section qui suit, nous détaillons les gammes de températures auxquelles sont portées les différentes parties du module de préchauffage 10. Toutefois, il convient de noter que les températures vont dépendre des procédés mis en œuvre et des types de four utilisés. La section qui suit ne
30 présente donc qu'un guide pour obtenir la température souhaitée en sortie du module de préchauffage 10.

Préférentiellement, la chambre de dispersion 11 est la plus éloignée du module de traitement 2. Elle présente une température comprise entre -200°C et -30°C par rapport à la température souhaitée dans le module de traitement 2. Plus spécifiquement, l'unité 20
35 d'éclatement présente quant à elle une température comprise entre -200°C et -100°C par

rapport à la température souhaitée dans le module de traitement 2. La paroi 30 de transfert peut avantageusement présenter une température de -30°C par rapport à la température souhaitée dans le module de traitement 2. De préférence, la chambre de diffusion 12 présente une température comprise entre -30°C (au niveau de sa paroi 30 de transfert) et -5°C (au niveau de la bordure supérieure 18 du module de préchauffage 10) par rapport à la température souhaitée dans le module de traitement 2. C'est ainsi que la zone au niveau de laquelle se situe l'objet dans le module de traitement 2 peut atteindre la température souhaitée. L'écart de 5°C par rapport à la bordure supérieure 18°C du module de préchauffage est directement comblé dans une partie basse du module de traitement.

En référence à la figure 7, le procédé 100 comprend une première étape 110) consistant à fournir un four 1 tel que précédemment décrit. De préférence, on place concomitamment la pièce P en matériau CMC dans le module de traitement 2 du four.

Le procédé 100 comprend une deuxième étape 120) comprenant deux sous-étapes 122) et 124). Lors de la première sous-étape 122), on attend que la température T_{UE} dans l'unité 20 d'éclatement atteigne une valeur comprise entre -100°C et -200°C par rapport à une température T_{MC} souhaitée dans le module de traitement 2. En effet, le module de préchauffage est alimenté en gaz froid, ces gaz étant, par la suite, amenés à se réchauffer dans le module de préchauffage 10. Lors de la deuxième sous-étape 124), on attend que la température T_{CD} dans la chambre de diffusion 12 atteigne une valeur comprise entre -30°C et -5°C par rapport à la température T_{MC} souhaitée dans le module de traitement 2. La première sous-étape 122) et la deuxième sous-étape 124) peuvent être réalisées concomitamment. Cette deuxième étape 120) peut avantageusement être mise en œuvre au moyen d'un module de commande (non représenté) servant à piloter le four 1 selon l'invention. À cet égard, le module de commande peut être muni d'un processeur comportant les instructions pour la mise en œuvre de la deuxième étape 120).

Le procédé 100 comprend une troisième étape 130) qui peut être réalisée concomitamment ou subséquemment à la deuxième étape 120). Lors de cette troisième étape 130, on injecte le mélange de gaz dans le four 1 et on attend jusqu'à ce qu'il atteigne la température T_{MC} souhaitée. Cette température est atteinte au moyen du module de préchauffage 10 tel que précédemment décrit. Pour cela, le mélange de gaz passe successivement du module de préchauffage 10 au module de traitement 2. Au sein du module de préchauffage 10, le mélange de gaz traverse, dans cet ordre, l'unité 20 d'éclatement, la chambre de dispersion 11 (zone hors unité d'éclatement), la paroi 30 de transfert et la chambre de diffusion 12. Comme vu précédemment, le mélange de gaz réalise de nombreux échanges thermiques avec les surfaces des parois intérieures 22 de l'unité 20 d'éclatement puis avec la

paroi 30 de transfert ce qui permet d'atteindre les températures souhaitées par un allongement du parcours de ce mélange de gaz. Bien entendu, si l'unité 20 d'éclatement comprend plusieurs étages 20a, 20b,... alors le mélange de gaz passe par chaque étage avant de sortir de l'unité 20 d'éclatement. De manière avantageuse, les dimensions de l'ouverture ou des
5 ouvertures formant l'entrée 25 soient choisies de sorte à permettre que les réactifs pénètrent dans l'unité 20 d'éclatement avec une vitesse comprise entre 0,1 m/s et 10 m/s, de préférence entre 0,1 m/s et 2 m/s.

Ensuite, lors d'une quatrième étape 140), comme le mélange de gaz a atteint la température souhaitée dans le module de traitement 2, on procède à la consolidation de la
10 pièce. La durée de cette étape dépend du procédé que l'on souhaite effectuer et des paramètres de pression et de température choisis. Lors d'une cinquième étape 150), on procède à la densification de la pièce. Comme pour l'étape 140) de consolidation, la durée de cette cinquième étape dépend du procédé que l'on souhaite effectuer et des paramètres de pression et de température choisis.

REVENDECATIONS

1. Module de préchauffage (10) pour un four (1), le module de préchauffage (10) comprenant une chambre de dispersion (11) et une chambre de diffusion (12) disposée au-dessus de la chambre de dispersion (11) et formant avec la chambre de dispersion (11) un empilement le long d'un axe (X) d'empilement, le module de préchauffage (10) étant destiné à être traversé par un mélange de gaz se déplaçant selon ledit axe (X) d'empilement depuis une bordure inférieure (17) du module de préchauffage vers une bordure supérieure (18) du module de préchauffage, la chambre de dispersion (11) comprenant une unité (20) d'éclatement du mélange de gaz comprenant une entrée (25) située au niveau de la bordure inférieure (17) et une pluralité de parois (22) intérieures formant un chemin (21) d'écoulement du mélange de gaz, et la chambre de diffusion (12) du mélange de gaz étant située en aval de la chambre de dispersion (11) dans le sens de circulation du mélange de gaz, et comportant une paroi (30) de transfert de la chaleur séparant cette chambre de diffusion (12) de la chambre de dispersion (11), le chemin (21) d'écoulement du mélange de gaz s'étendant principalement selon des directions d'axes longitudinal (Y) et transversal (Z) orthogonaux à l'axe (X) d'empilement, et la dimension de la chambre de diffusion (12) le long de l'axe (X) d'empilement ne différant pas de plus de 20% par rapport à la dimension de la chambre de dispersion (11) le long de cet axe d'empilement, le module de préchauffage (10) étant caractérisé en ce que chaque paroi (22) intérieure comprend une pluralité d'ailettes (27) s'étendant depuis au moins une surface de cette paroi (22) intérieure, chaque ailette (27) faisant un angle ouvert avec la paroi (22) intérieure associée dans les directions principales d'écoulement du mélange de gaz au sein de l'unité (20) d'éclatement.
2. Module de préchauffage (10) selon la revendication 1, dans lequel un rapport entre une longueur du chemin (21) d'écoulement et une dimension du module de préchauffage, le long de l'axe longitudinal (Y) et/ou de l'axe transversal (Z) est compris entre 4 et 150.
3. Module de préchauffage (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les parois (22) intérieures sont séparées les unes par rapport aux autres par une distance comprise entre 20 mm et 100 mm.
4. Module de préchauffage (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'unité (20) d'éclatement comprend au moins un étage (20a) délimité, le long de l'axe (X) d'empilement, par une première paroi périphérique (23) et une deuxième paroi périphérique (24), les parois (22) intérieures s'étendant entre la première (23) paroi

périphérique et la deuxième (24) paroi périphérique orthogonalement auxdites première (23) et deuxième (24) parois périphériques.

5. Module de préchauffage (10) selon la revendication 4, dans lequel le module de préchauffage (10) comprend au moins une paroi latérale (13) s'étendant autour de l'axe (X) d'empilement, ladite paroi latérale (13) comprenant au moins deux portions (13a, 13b) diamétralement opposées, et dans lequel une première série de parois (22a) intérieures s'étend depuis une première portion (13a) de la paroi latérale et une deuxième série de parois (22b) intérieures s'étend depuis une deuxième portion (13b) de la paroi latérale, les parois (22a) intérieures de la première série et les parois (22b) intérieures de la deuxième série étant agencées parallèlement les unes par rapport aux autres en alternance une à une.
6. Module de préchauffage (10) selon la revendication 5, dans lequel les parois (22) intérieures comprennent deux parois distales d'un centre de la première paroi périphérique (23), les parois distales comportant une pluralité d'ouvertures (22e).
7. Module de préchauffage (10) selon la revendication 4, dans lequel les parois (22) intérieures sont agencées en forme de spirale.
8. Module de préchauffage (10) selon la revendication 4, dans lequel une troisième série de parois (22c) intérieures s'étend depuis la première paroi périphérique (23) et une quatrième série de parois (22d) intérieures s'étend depuis la deuxième paroi périphérique (24), les parois (22c) intérieures de la troisième série et les parois (22d) intérieures de la quatrième série étant agencées parallèlement les unes par rapport aux autres en alternance une à une.
9. Module de préchauffage (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la paroi (30) de transfert comprend une pluralité de premières ouvertures (31) occupant 20% à 35%, non inclus, d'une surface totale de la paroi (30) de transfert.
10. Module de préchauffage (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la chambre de diffusion (12) comprend une pluralité de parois (35) de diffusion, chaque paroi (35) de diffusion comportant des secondes ouvertures (36) occupant 35% à 50% d'une surface totale des parois (35) de diffusion, de préférence entre 40% et 60% d'une surface totale des parois (35) de diffusion.
11. Four (1) pour la consolidation et la densification d'une pièce (P) en matériau composite à matrice céramique, le four (1) comprenant un module de traitement (2) comportant une cavité (3) pour accueillir cette pièce (P), et un module de préchauffage (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, le module de préchauffage étant

situé sous le module de traitement (2) et formant avec ce module de traitement (2) un second empilement selon l'axe (X) d'empilement.

5 12. Procédé (100) de consolidation et de densification d'une pièce (P) composite à matrice céramique mis en œuvre au moyen d'un four selon la revendication 11, le procédé comprenant les étapes suivantes dans cet ordre :

110) fournir un four selon la revendication 11,

10 120) attendre que la température (T_{UE}) dans l'unité (20) d'éclatement atteigne une valeur comprise entre -100°C et -200°C par rapport à une température (T_{MC}) souhaitée dans le module de traitement (2) et la température (T_{CD}) dans la chambre de diffusion (12) à une valeur comprise entre -30°C et -5°C par rapport à la température (T_{MC}) souhaitée dans le module de traitement (2),

130) concomitamment ou subséquent à l'étape 120), injecter le mélange de gaz dans le four et attendre jusqu'à ce qu'il atteigne la température (T_{MC}) souhaitée.

Fig. 1a

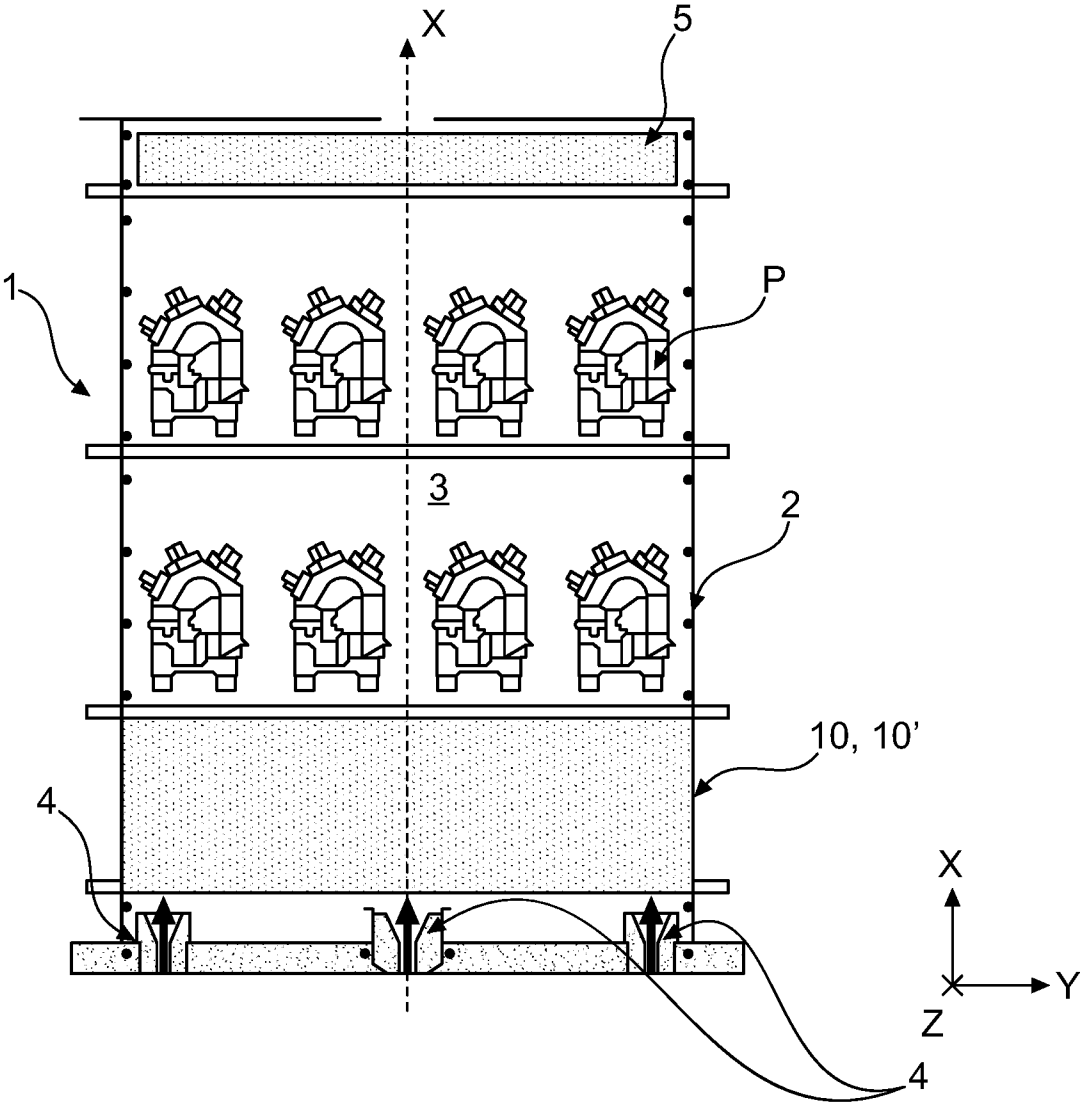


Fig. 1b

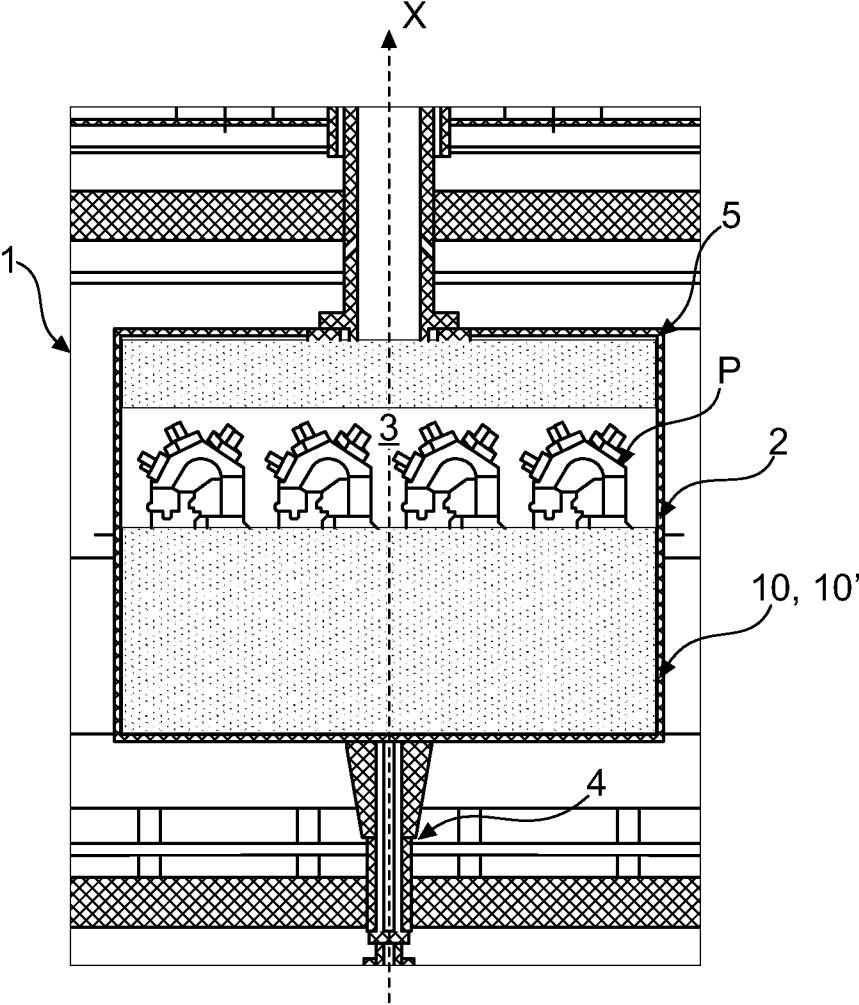


Fig. 2a

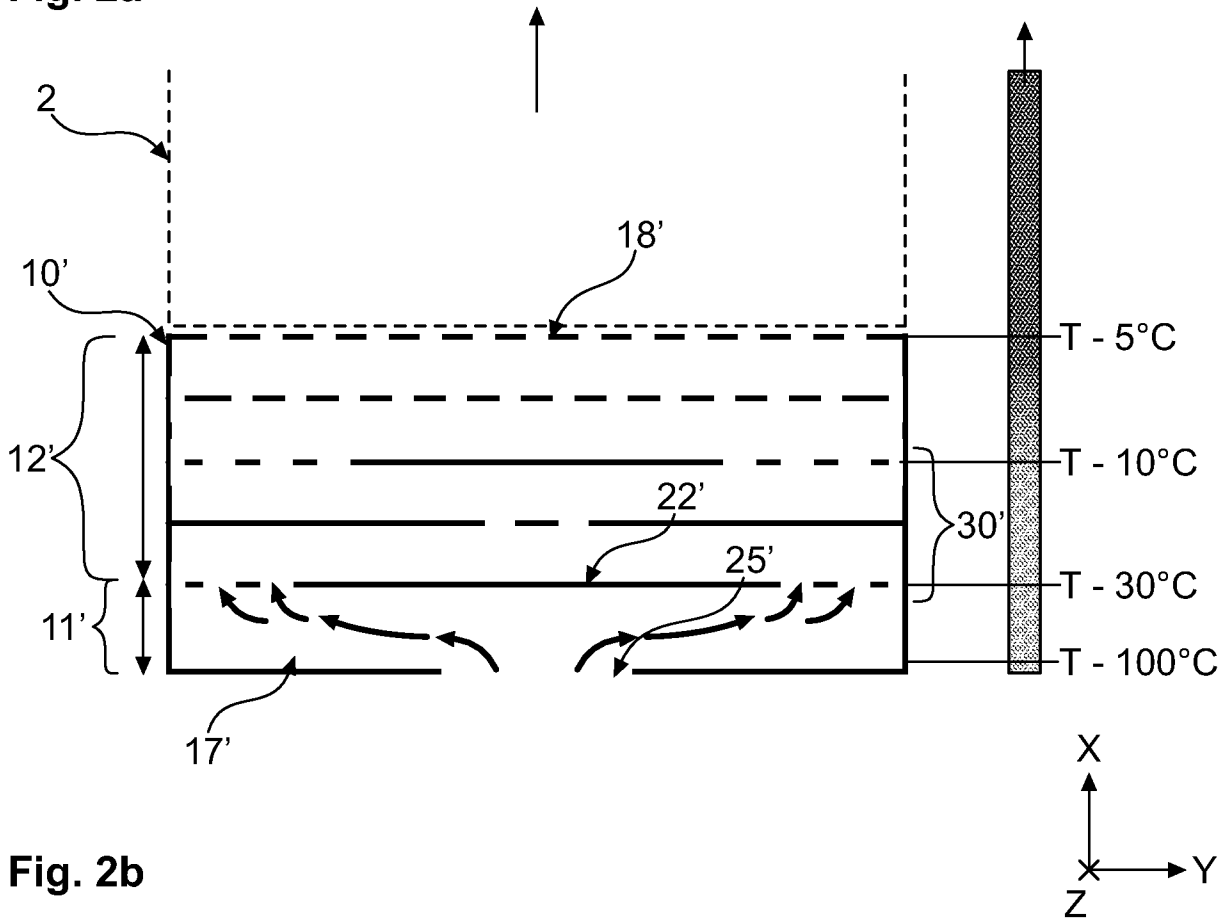


Fig. 2b

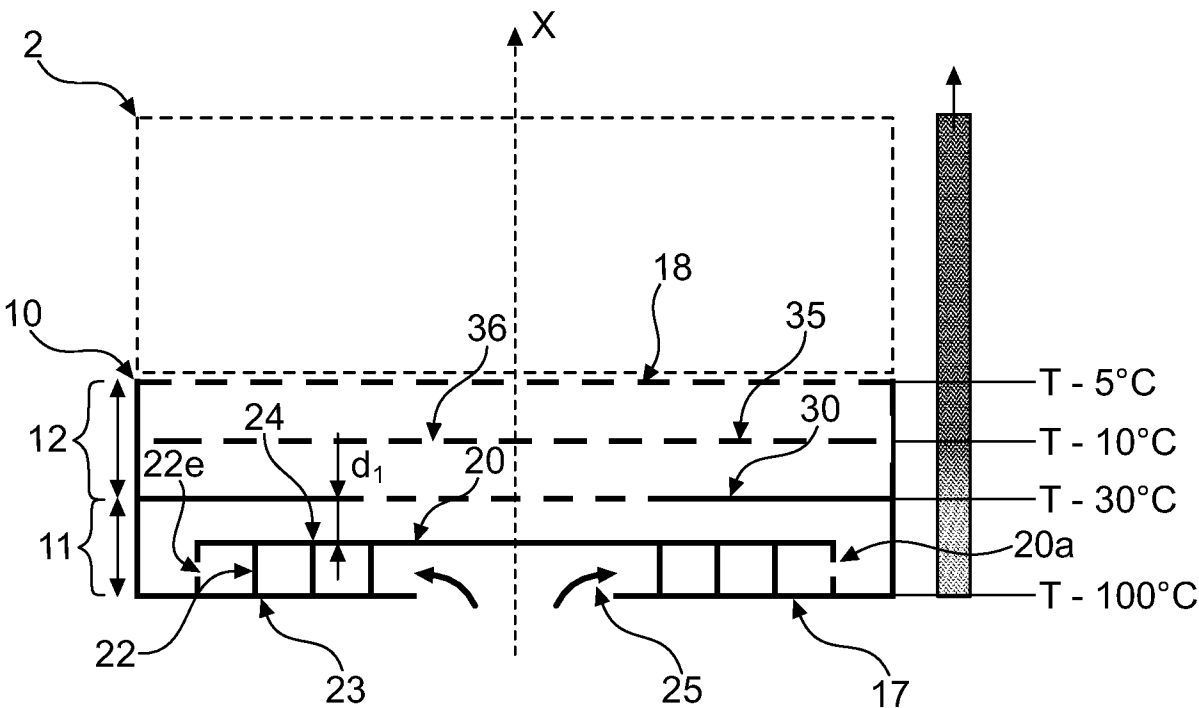


Fig. 2c

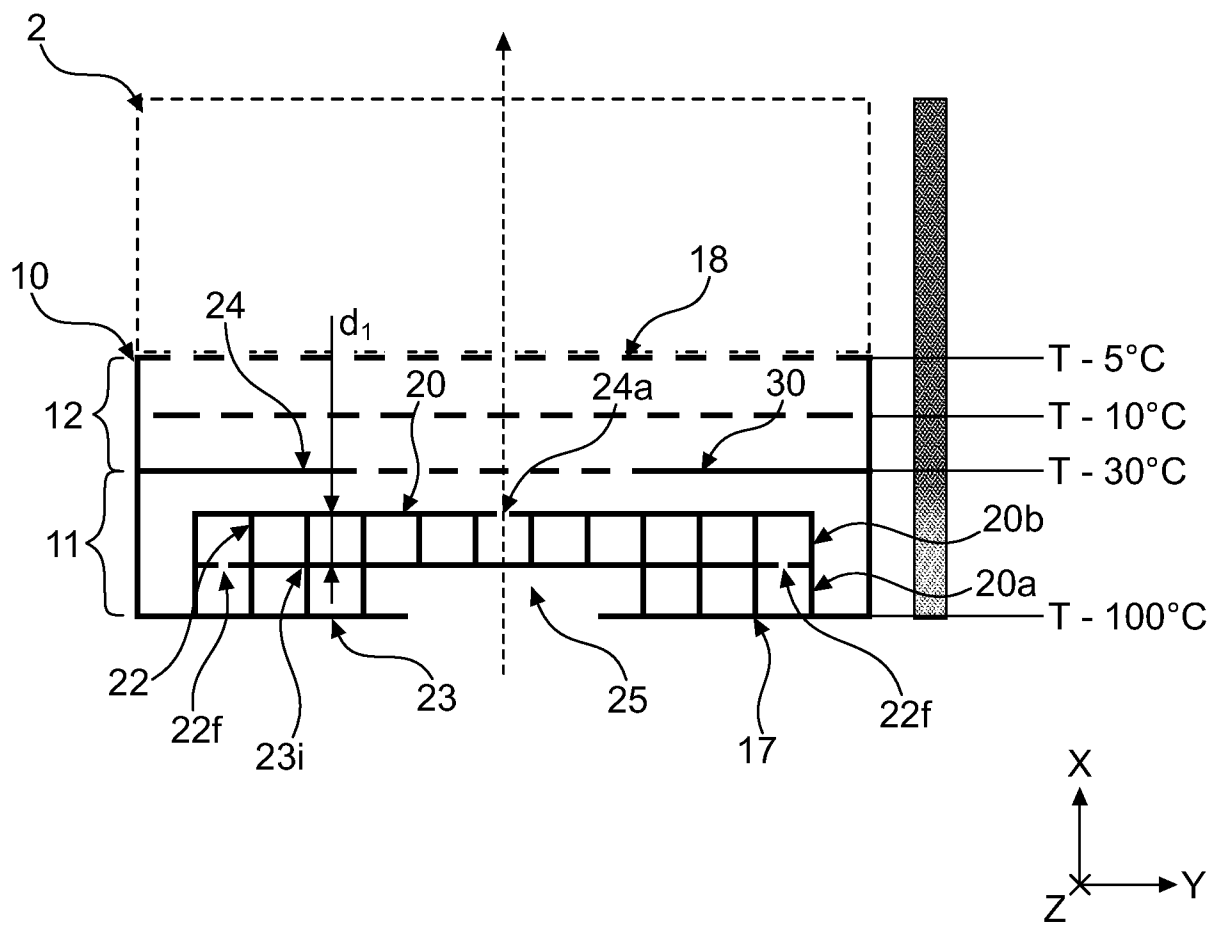


Fig. 3

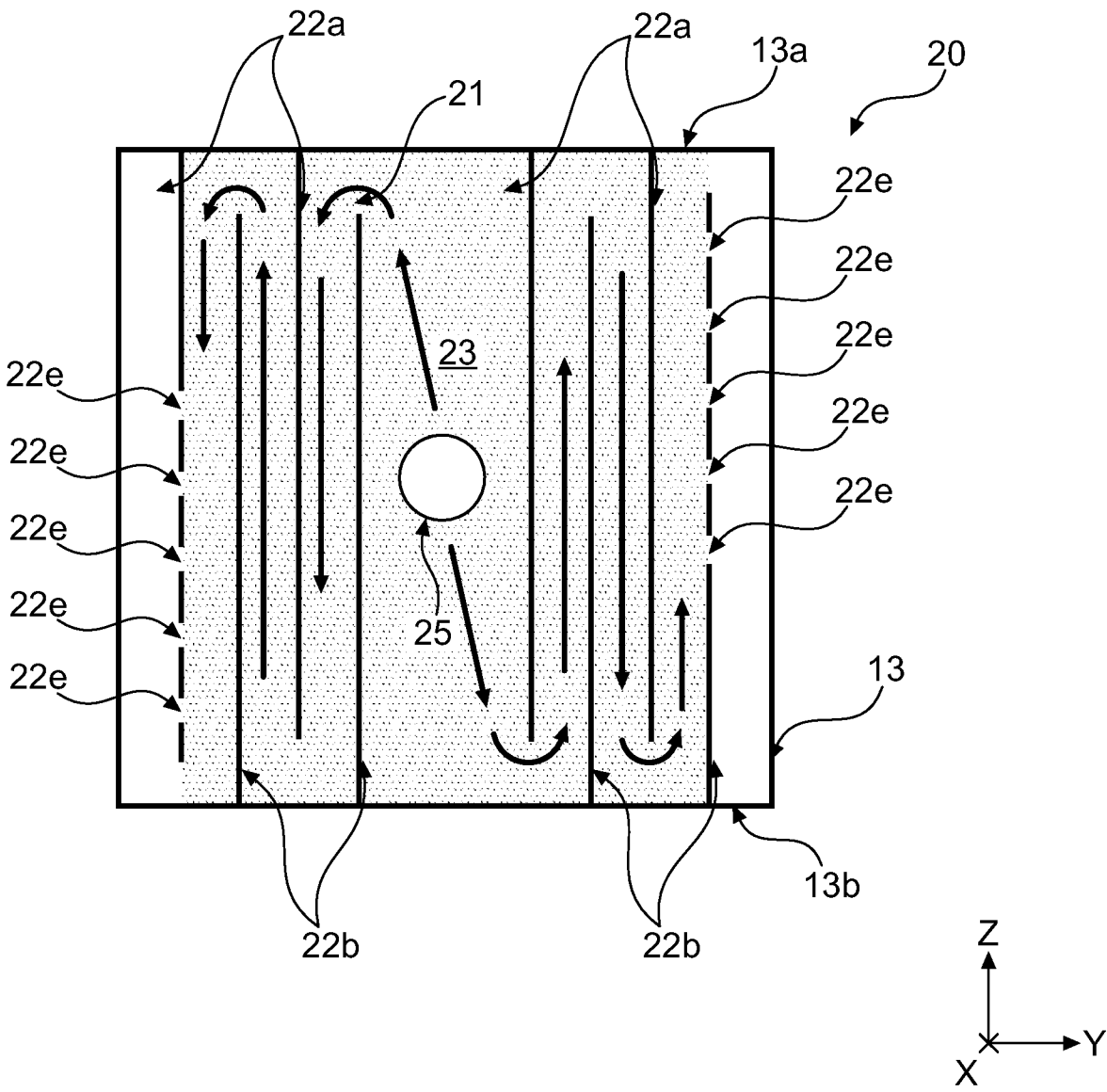
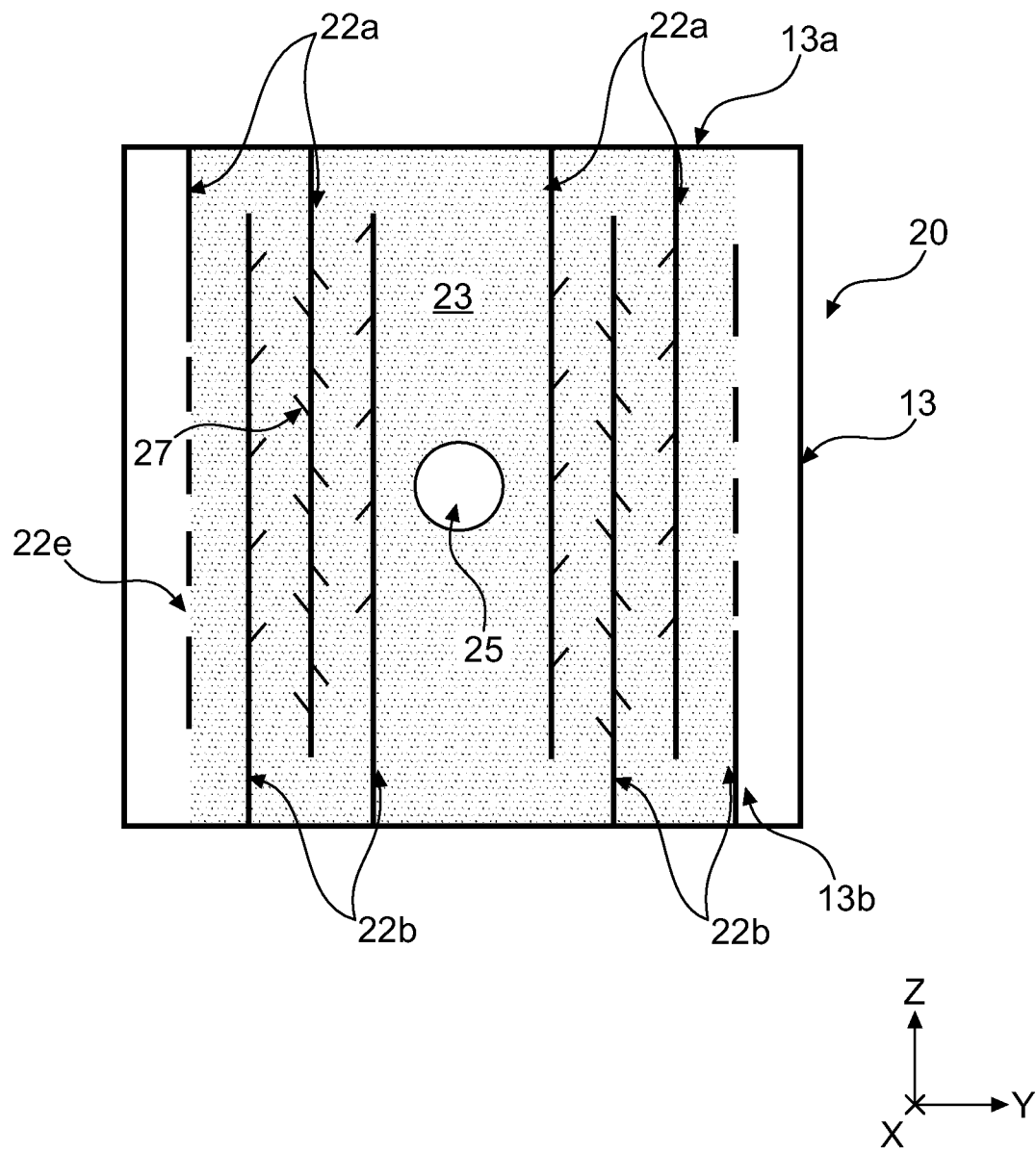


Fig. 4



7/8

Fig. 5

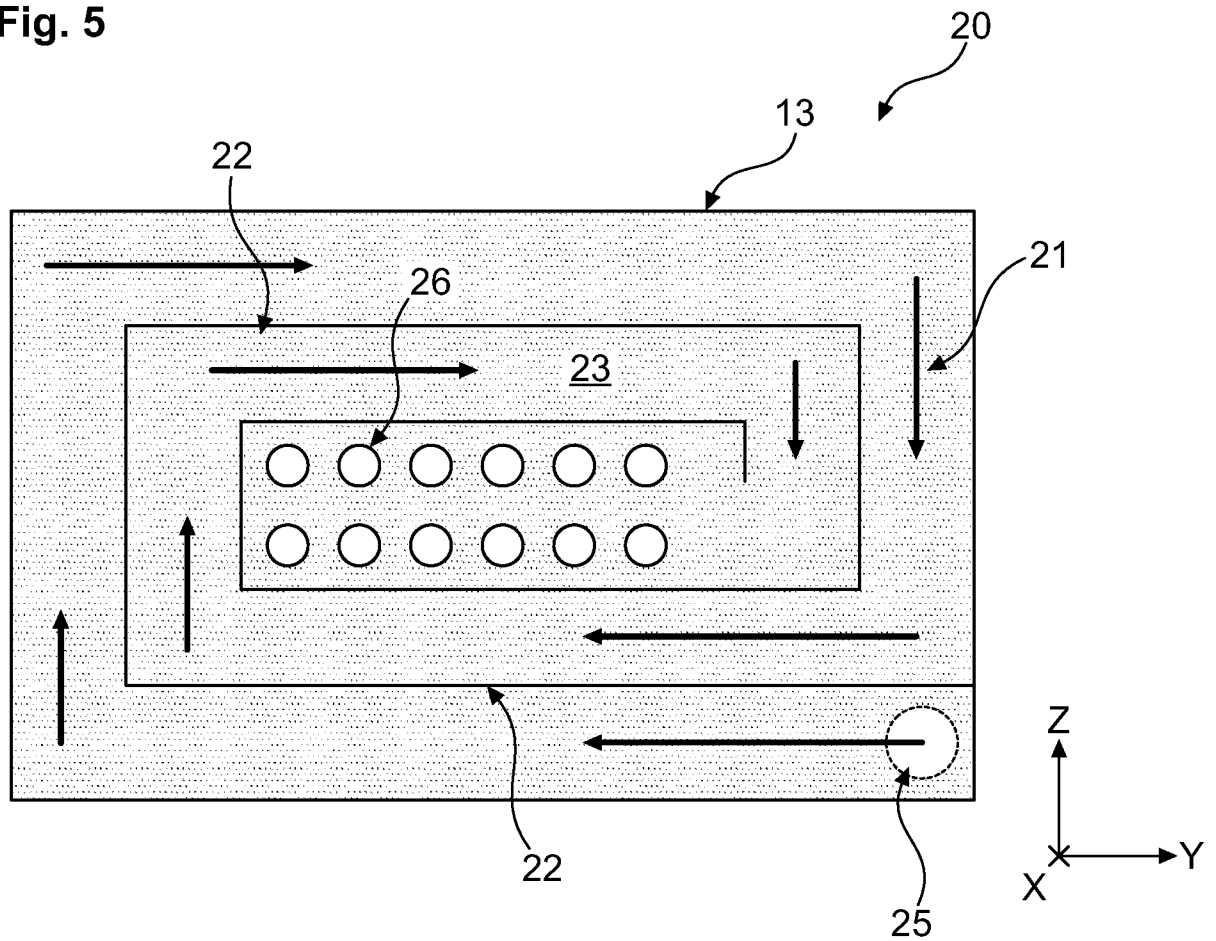


Fig. 6

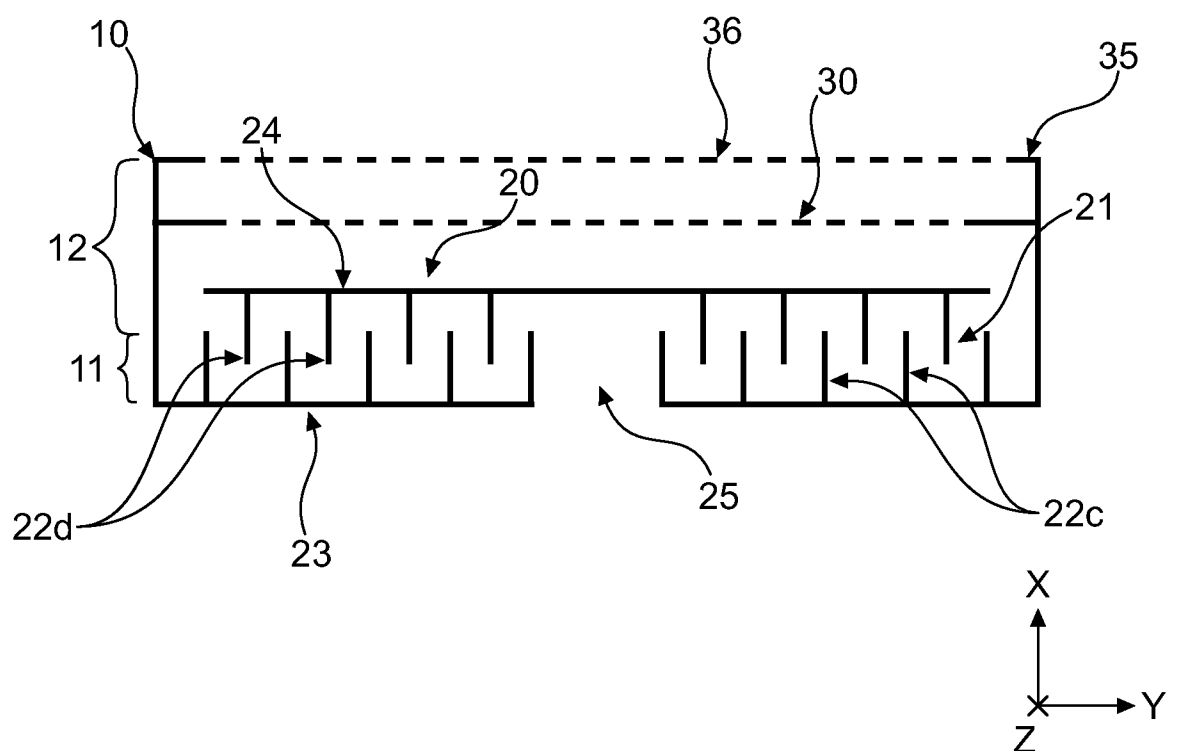
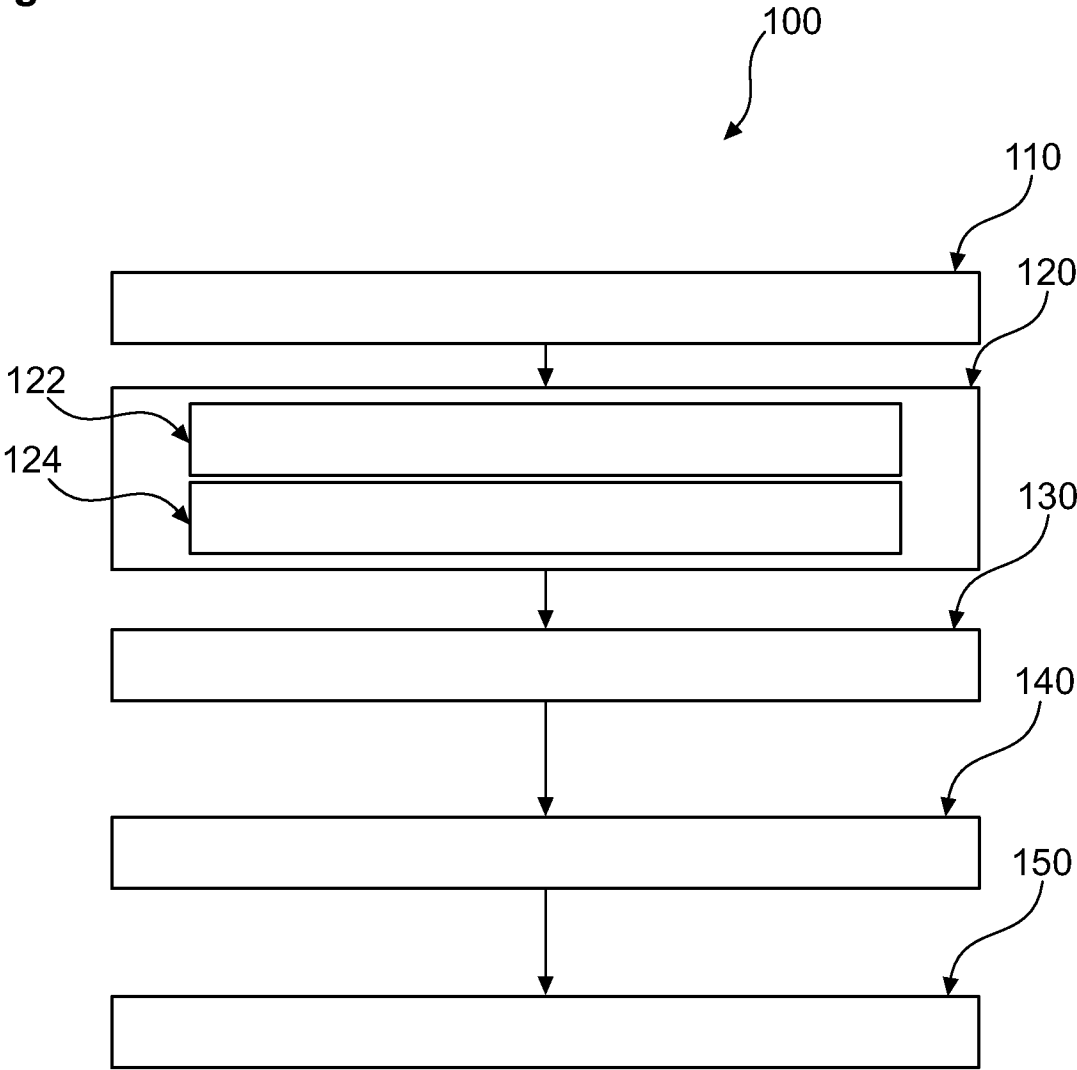


Fig. 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/050770

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F27B 17/00**(2006.01)i; **F27D 7/02**(2006.01)i; **F27D 99/00**(2010.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F27B; F27D; C23C; C21D; C04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2017002466 A1 (DELPERIER BERNARD [FR] ET AL) 05 January 2017 (2017-01-05) paragraph [0024] - paragraph [0057]; figures 1-5 paragraph [0001] - paragraph [0003]	1-12
A	US 6572371 B1 (SION ERIC [FR] ET AL) 03 June 2003 (2003-06-03) column 2, line 38 - column 6, line 64; figures 1-6	1-12
A	US 5480678 A (RUDOLPH JAMES W [US] ET AL) 02 January 1996 (1996-01-02) column 5, line 36 - column 13, line 22; figures 1-8	1-12
A	US 2007275339 A1 (CRESS JAMES JAY [US] ET AL) 29 November 2007 (2007-11-29) paragraph [0002] - paragraph [0008] paragraph [0020] - paragraph [0028] figures 1-6	1-12
A	CN 109400198 A (SHANGHAI KANGTAN COMPOSITE MATERIAL TECH CO LTD ET AL.) 01 March 2019 (2019-03-01) Machine translation; claims 1-10; figures 3, 4	1-12
A	FR 2588363 A1 (ARRAS MAXEI [FR]) 10 April 1987 (1987-04-10) figure 7	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 September 2024

Date of mailing of the international search report

30 September 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Desvignes, Rémi

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/050770

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4253823 A (HOLDNER DONALD N) 03 March 1981 (1981-03-03) figure 4	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2024/050770

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2017002466	A1	05 January 2017	CN	106133189	A	16 November 2016
				EP	3117020	A1	18 January 2017
				FR	3018526	A1	18 September 2015
				JP	6526070	B2	05 June 2019
				JP	2017512912	A	25 May 2017
				KR	20160132927	A	21 November 2016
				RU	2016140396	A	16 April 2018
				US	2017002466	A1	05 January 2017
				WO	2015136193	A1	17 September 2015
US	6572371	B1	03 June 2003	AU	2003242547	A1	17 November 2003
				BR	0304664	A	03 August 2004
				CA	2484915	A1	13 November 2003
				CN	1650042	A	03 August 2005
				EP	1501963	A1	02 February 2005
				IL	164970	A	16 June 2010
				JP	4417831	B2	17 February 2010
				JP	2005524773	A	18 August 2005
				KR	20040108781	A	24 December 2004
				MX	PA04011025	A	14 February 2005
				RU	2315821	C2	27 January 2008
				UA	79779	C2	25 July 2007
				US	6572371	B1	03 June 2003
				WO	03093531	A1	13 November 2003
US	5480678	A	02 January 1996	AT	E183552	T1	15 September 1999
				AT	E202805	T1	15 July 2001
				AU	4370996	A	06 June 1996
				CA	2205139	A1	23 May 1996
				CN	1170442	A	14 January 1998
				CN	1528949	A	15 September 2004
				DE	69511573	T2	04 May 2000
				DE	69521630	T2	16 May 2002
				DK	0792385	T3	24 January 2000
				EP	0792385	A2	03 September 1997
				EP	0846787	A1	10 June 1998
				ES	2137561	T3	16 December 1999
				JP	3759166	B2	22 March 2006
				JP	H10512925	A	08 December 1998
				JP	2006097136	A	13 April 2006
				KR	970707318	A	01 December 1997
				RU	2146304	C1	10 March 2000
				US	5480678	A	02 January 1996
				US	6109209	A	29 August 2000
				WO	9615288	A2	23 May 1996
US	2007275339	A1	29 November 2007	NONE			
CN	109400198	A	01 March 2019	NONE			
FR	2588363	A1	10 April 1987	NONE			
US	4253823	A	03 March 1981	AU	534129	B2	05 January 1984
				CA	1150014	A	19 July 1983
				EP	0019425	A1	26 November 1980

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2024/050770

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
		ES 8103197 A1	16 February 1981
		JP S55167116 A	26 December 1980
		NO 156756 B	10 August 1987
		US 4253823 A	03 March 1981

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. F27B17/00 F27D7/02 F27D99/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) F27B F27D C23C C21D C04B		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2017/002466 A1 (DELPERIER BERNARD [FR] ET AL) 5 janvier 2017 (2017-01-05) alinéa [0024] - alinéa [0057]; figures 1-5 alinéa [0001] - alinéa [0003] -----	1 - 12
A	US 6 572 371 B1 (SION ERIC [FR] ET AL) 3 juin 2003 (2003-06-03) colonne 2, ligne 38 - colonne 6, ligne 64; figures 1-6 -----	1 - 12
A	US 5 480 678 A (RUDOLPH JAMES W [US] ET AL) 2 janvier 1996 (1996-01-02) colonne 5, ligne 36 - colonne 13, ligne 22; figures 1-8 ----- - / - -	1 - 12
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 11 septembre 2024		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 30/09/2024
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Desvignes, Rémi

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2007/275339 A1 (CRESS JAMES JAY [US] ET AL) 29 novembre 2007 (2007-11-29) alinéa [0002] - alinéa [0008] alinéa [0020] - alinéa [0028] figures 1-6 -----	1-12
A	CN 109 400 198 A (SHANGHAI KANGTAN COMPOSITE MATERIAL TECH CO LTD ET AL.) 1 mars 2019 (2019-03-01) Machine translation; revendications 1-10; figures 3,4 -----	1-12
A	FR 2 588 363 A1 (ARRAS MAXEI [FR]) 10 avril 1987 (1987-04-10) figure 7 -----	1-12
A	US 4 253 823 A (HOLDNER DONALD N) 3 mars 1981 (1981-03-03) figure 4 -----	1-12

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2024/050770

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 2017002466	A1	05-01-2017	CN	106133189 A	16-11-2016
			EP	3117020 A1	18-01-2017
			FR	3018526 A1	18-09-2015
			JP	6526070 B2	05-06-2019
			JP	2017512912 A	25-05-2017
			KR	20160132927 A	21-11-2016
			RU	2016140396 A	16-04-2018
			US	2017002466 A1	05-01-2017
			WO	2015136193 A1	17-09-2015

US 6572371	B1	03-06-2003	AU	2003242547 A1	17-11-2003
			BR	0304664 A	03-08-2004
			CA	2484915 A1	13-11-2003
			CN	1650042 A	03-08-2005
			EP	1501963 A1	02-02-2005
			IL	164970 A	16-06-2010
			JP	4417831 B2	17-02-2010
			JP	2005524773 A	18-08-2005
			KR	20040108781 A	24-12-2004
			MX	PA04011025 A	14-02-2005
			RU	2315821 C2	27-01-2008
			UA	79779 C2	25-07-2007
			US	6572371 B1	03-06-2003
			WO	03093531 A1	13-11-2003

US 5480678	A	02-01-1996	AT	E183552 T1	15-09-1999
			AT	E202805 T1	15-07-2001
			AU	4370996 A	06-06-1996
			CA	2205139 A1	23-05-1996
			CN	1170442 A	14-01-1998
			CN	1528949 A	15-09-2004
			DE	69511573 T2	04-05-2000
			DE	69521630 T2	16-05-2002
			DK	0792385 T3	24-01-2000
			EP	0792385 A2	03-09-1997
			EP	0846787 A1	10-06-1998
			ES	2137561 T3	16-12-1999
			JP	3759166 B2	22-03-2006
			JP	H10512925 A	08-12-1998
			JP	2006097136 A	13-04-2006
			KR	970707318 A	01-12-1997
			RU	2146304 C1	10-03-2000
			US	5480678 A	02-01-1996
			US	6109209 A	29-08-2000
			WO	9615288 A2	23-05-1996

US 2007275339	A1	29-11-2007	AUCUN		

CN 109400198	A	01-03-2019	AUCUN		

FR 2588363	A1	10-04-1987	AUCUN		

US 4253823	A	03-03-1981	AU	534129 B2	05-01-1984
			CA	1150014 A	19-07-1983
			EP	0019425 A1	26-11-1980
			ES	8103197 A1	16-02-1981
			JP	S55167116 A	26-12-1980
			NO	156756 B	10-08-1987

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/FR2024/050770

Document brevet cité
au rapport de recherche

Date de publication

Membre(s) de la
famille de brevet(s)

Date de publication

US 4253823 A 03-03-1981