

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
COURBEVOIE

(11) **Nº de publication :**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 968 704

(21) **Nº d'enregistrement national :**

11 61346

(51) Int Cl⁸ : **F 01 D 5/18** (2017.01), **F 01 D 5/28**

(12)

BREVET D'INVENTION

B1

(54) **PIECE A CANAUX DE REFROIDISSEMENT ET PROCEDE DE FABRICATION.**

(22) **Date de dépôt :** 08.12.11.

(30) **Priorité :** 10.12.10 US 12965083.

(60) **Références à d'autres documents nationaux
apparentés :**

Demande(s) d'extension :

(71) **Demandeur(s) :** *GENERAL ELECTRIC COMPANY*
— US.

(43) **Date de mise à la disposition du public
de la demande :** 15.06.12 Bulletin 12/24.

(45) **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention :** 05.01.18 Bulletin 18/01.

(72) **Inventeur(s) :** BUNKER RONALD SCOTT et
WETZEL TODD GARRETT.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

(73) **Titulaire(s) :** GENERAL ELECTRIC COMPANY.

(74) **Mandataire(s) :** CASALONGA & ASSOCIES.



Pièce a canaux de refroidissement et procede de fabrication

L'invention concerne de façon générale les moteurs à turbine à gaz et, plus spécifiquement, un refroidissement dans ceux-ci par des microcanaux.

Dans un moteur à turbine à gaz, de l'air est mis sous pression dans un compresseur et est mélangé à du combustible dans une chambre de combustion pour produire des gaz de combustion chauds. De l'énergie est extraite des gaz dans une turbine haute pression (HP), qui fait fonctionner le compresseur, et dans une turbine basse pression (BP), qui fait fonctionner une soufflante dans une application à un moteur d'aéronef à double flux, ou fait fonctionner un arbre extérieur pour des applications dans la marine et l'industrie.

Le rendement d'un moteur augmente avec la température des gaz de combustion. Cependant, les gaz de combustion chauffent les divers organes sur leur passage, ce qui nécessite à son tour un refroidissement de ceux-ci pour assurer une longue durée de vie du moteur. Ordinairement, les organes sur le passage des gaz chauds sont refroidis en soutirant de l'air du compresseur. Ce processus de refroidissement réduit le rendement du moteur, car l'air soutiré n'est pas utilisé dans le processus de combustion.

La technique de refroidissement des moteurs à turbine à gaz est au point et comprend de nombreux brevets couvrant divers aspects de circuits et moyens de refroidissement dans les diverses pièces de la veine de gaz chauds. Par exemple, la chambre de combustion comprend des aubes fixes creuses supportées entre des bandes extérieure et intérieure, lesquelles nécessitent également un refroidissement. Les aubes rotoriques de turbines sont creuses et comprennent ordinairement des circuits de refroidissement, les

aubes étant entourées par des enveloppes de turbine, lesquelles nécessitent elles aussi un refroidissement. Les gaz de combustion chauds sont refoulés par un circuit d'échappement qui peut également être doublé et doit être convenablement refroidi.

5 Dans tous ces exemples de pièces de moteurs à turbine à gaz, on utilise ordinairement de minces parois métalliques en métaux constituées par des superalliages à grande résistance mécanique pour améliorer la durée de vie tout en limitant le plus possible les besoins en refroidissement. Divers circuits et moyens de refroidissement sont adaptés à ces différentes pièces dans leurs 10 environnements correspondants dans le moteur. Par exemple, une série de passages internes de refroidissement, ou sinuosités, peuvent être formés dans une pièce de veine de gaz chauds. Un fluide de refroidissement peut être envoyé dans les sinuosités depuis une chambre, et le fluide de refroidissement peut circuler dans les 15 passages, en refroidissant le substrat et les revêtements des pièces de la veine de gaz chauds. Cependant, cette stratégie de refroidissement a ordinairement pour conséquences des coefficients de transfert thermique relativement bas et des profils non uniformes 20 de température des pièces.

Le refroidissement par microcanaux offre la possibilité de réduire notablement les besoins en refroidissement en plaçant le refroidissement le plus près possible de la zone chauffée, ce qui réduit la différence de température entre le côté chaud et le côté 25 froid de la matière du substrat supportant les principales sollicitations, pour un coefficient de transfert thermique donné. Cependant, les techniques actuelles pour former des pièces à refroidissement par microcanaux nécessitent ordinairement la formation de trous individuels de sortie de refroidissement par film 30 pour chacun des microcanaux. Comme les pièces de veine de gaz

chauds peuvent comporter des centaines de microcanaux, la formation de trous de sortie de refroidissement par film nécessiterait donc la formation de centaines de trous, alourdissant le coût global de la fabrication de la pièce.

5 Par conséquent, il serait souhaitable de proposer des moyens plus économiques et plus efficaces pour former des zones de sortie pour microcanaux.

10 Un premier aspect de la présente invention réside dans une pièce comportant un substrat ayant une surface extérieure et une surface intérieure. La surface intérieure définit au moins un espace intérieur creux et la surface extérieure définit une ou plusieurs gorges. Chaque gorge s'étend au moins partiellement sur la surface extérieure du substrat et a une base respective. Un ou plusieurs trous d'accès sont formés à travers la base d'une gorge respective, 15 pour mettre la gorge en communication fluidique avec l'espace intérieur creux respectif ou avec certains, respectifs, des espaces intérieurs creux. La pièce comporte en outre un revêtement comportant une ou plusieurs couches disposées par-dessus au moins une partie de la surface extérieure du substrat. La ou les gorges et 20 le revêtement définissent conjointement un ou plusieurs canaux pour le refroidissement de la pièce. Une ou plusieurs dépressions sont formées à travers une ou plusieurs couches du revêtement et définissent au moins partiellement au moins une zone de sortie pour le ou les canaux de refroidissement.

25 Un autre aspect de l'invention réside dans un procédé de fabrication d'une pièce. Le procédé comporte la formation d'une ou de plusieurs gorges dans une surface extérieure d'un substrat, lequel a au moins un espace intérieur creux. Chaque gorge s'étend au moins partiellement sur la surface extérieure du substrat et a une base respective. Le procédé de fabrication comporte en outre la 30

réalisation d'un ou de plusieurs trous d'accès à travers la base d'une gorge respective afin de mettre la gorge en communication fluidique avec l'espace intérieur creux respectif ou, certains, respectifs, des espaces intérieurs creux. Le procédé de fabrication comporte 5 également le dépôt d'un revêtement par-dessus au moins une partie de la surface extérieure du substrat, de façon que la ou les gorges et le revêtement définissent conjointement un ou plusieurs canaux pour le refroidissement de la pièce. Le procédé de fabrication comporte en outre la formation d'une ou de plusieurs dépressions à 10 travers une ou plusieurs couches du revêtement de manière à définir au moins partiellement au moins une zone de sortie pour le ou les canaux de refroidissement.

15 L'invention sera mieux comprise à l'étude de la description détaillée de quelques modes de réalisation pris à titre d'exemples non limitatifs et illustrés par les dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 est une représentation schématique d'un système de turbine à gaz;

20 la figure 2 est une coupe schématique d'un exemple de configuration de pale à microcanaux de refroidissement, selon un aspect de la présente invention ;

la figure 3 représente schématiquement, sur une vue en perspective, trois exemples de canaux de refroidissement qui s'étendent partiellement sur la surface du substrat et canalisent un agent de refroidissement jusqu'à des zones de sortie respectives formées dans une dépression ménagée dans le revêtement d'une pale 25 ;

la figure 4 est une vue en coupe de l'un des exemples de canaux de refroidissement de la figure 3 et représente le canal acheminant un agent de refroidissement depuis un trou d'accès

jusqu'à une zone de sortie formée dans une dépression ménagée dans le revêtement de la pale ;

la figure 5 est une vue en coupe de la pièce de la figure 3, qui ne coïncide pas avec l'un des canaux de refroidissement ;

5 la figure 6 illustre schématiquement, sur une vue en perspective, trois exemples de canaux de refroidissement à forme rentrante, qui s'étendent partiellement sur la surface du substrat et canalisent un agent de refroidissement jusqu'à des zones de sortie respectives formées dans une dépression ménagée dans le revêtement de la pale ;

10 la figure 7 est une coupe d'une pièce avec trois exemples de canaux de refroidissement, chacun des canaux ayant une fente perméable ;

15 la figure 8 est une coupe d'une pièce avec trois exemples de canaux de refroidissement, chacun des canaux ayant une fente perméable hermétiquement fermée par le revêtement extérieur ;

20 la figure 9 représente schématiquement, sur une vue en perspective, une coupe d'une pièce avec trois exemples de canaux de refroidissement et avec une dépression formée dans les couches de revêtement extérieures ;

25 la figure 10 est une vue en coupe d'un des exemples de canaux de refroidissement de la figure 9 et représente le canal en communication fluidique, par l'intermédiaire d'un trou de refroidissement par film, avec la dépression ménagée dans les couches de revêtement extérieures ;

la figure 11 représente schématiquement, sur une vue en perspective, trois exemples de canaux de refroidissement orientés suivant un angle d'incidence non perpendiculaire à une dépression ménagée dans le revêtement de la pale ;

la figure 12 représente schématiquement, sur une vue en perspective, une coupe d'une pièce avec quatre exemples de canaux de refroidissement et avec deux dépressions formées dans le revêtement ;

5 la figure 13 représente schématiquement une autre configuration de dépression, où la dépression définit des zones de sortie séparées par des crêtes de revêtement ;

la figure 14 est une vue en coupe de l'exemple de dépression de la figure 13 ;

10 la figure 15 est une coupe d'une pièce qui ne coïncide pas avec l'un des canaux de refroidissement, la dépression ayant des parois d'entrée et de sortie obliques ;

15 la figure 16 représente schématiquement une autre configuration de dépression, l'espace occupé par la dépression étant plus petit à la première extrémité de la dépression qu'à la seconde extrémité de la dépression ;

la figure 17 illustre un exemple de configuration courbe d'une dépression ; et

20 les figures 18 à 20 illustrent des exemples d'étapes d'un procédé pour former une pièce.

La figure 1 est une représentation schématique d'un système 10 de turbine à gaz. Le système 10 peut comporter un ou plusieurs compresseurs 12, chambres de combustion 14, turbines 16 et injecteurs 20 de combustible. Le compresseur 12 et la turbine 16 peuvent être accouplés par un ou plusieurs arbres 18. L'arbre 18 peut être un arbre monobloc ou être constitué par de multiples segments d'arbre assemblés les uns avec les autres pour former l'arbre 18.

30 Le système 10 de turbine à gaz peut comporter un certain nombre de pièces 100 de la veine de gaz chauds. Une pièce de veine

de gaz chauds est constituée par toute pièce du système 10 au moins partiellement exposée à un flux de gaz à haute température circulant dans le système 10. Par exemple, des grilles d'ailettes (également appelées aubes mobiles ou grilles d'aubes mobiles), des ensembles de tuyères (également appelés aubes fixes ou grilles d'aubes fixes), des ensembles d'enveloppes, des pièces de transition, des bagues de retenue et des pièces d'échappement de compresseur constituent toutes des pièces de veine de gaz chauds au sens de la présente description. Cependant, il doit être entendu que la pièce 100 de veine de gaz chauds selon la présente invention ne se limite pas aux exemples ci-dessus, mais peut être constituée par toute pièce au moins partiellement exposée à un flux de gaz à haute température. Par ailleurs, il doit être entendu que la pièce 100 de veine de gaz chauds selon la présente invention ne se limite pas à des pièces présentes dans des systèmes 10 de turbines à gaz, mais peut être constituée par toute machine ou tout organe de celle-ci susceptible d'être exposée à des flux à haute température.

Lorsqu'une pièce 100 de veine de gaz chauds est exposée à un flux 80 de gaz chauds, la pièce 100 de veine de gaz chauds est chauffée par le flux 80 de gaz chauds et peut atteindre une température entraînant un défaut de fonctionnement de la pièce 100 de veine de gaz chauds. Ainsi, afin de permettre au système 10 de fonctionner à haute température avec un flux 80 de gaz chauds, ce qui améliore le rendement et les performances du système 10, il faut un système de refroidissement pour la pièce 100 de veine de gaz chauds.

Globalement, le système de refroidissement selon la présente invention comporte une série de petits canaux, ou microcanaux, formés dans la surface de la pièce 100 de veine de gaz chauds. La pièce de veine de gaz chauds peut être pourvue d'un revêtement. Un

fluide de refroidissement peut être envoyé dans les canaux depuis une chambre, et le fluide de refroidissement peut circuler dans les canaux, en refroidissant le revêtement.

Une pièce 100 est décrite en référence aux figures 2 à 17. 5 Comme indiqué, par exemple, sur la figure 2, la pièce 100 comporte un substrat 110 comportant une surface extérieure 112 et une surface intérieure 116. Comme indiqué, par exemple, sur la figure 2, la surface intérieure 116 définit au moins un espace intérieur creux 114. Comme indiqué, par exemple, sur les figures 2 et 3, la surface extérieure 112 définit une ou plusieurs gorges 132. Comme indiqué, 10 par exemple, sur les figures 3 et 11, chacune des gorges 132 s'étend au moins partiellement sur la surface 112 du substrat 110 et a une base 134.

Le substrat 110 est ordinairement moulé avant la formation 15 des gorges 132 dans la surface 112 du substrat 110. Comme expliqué dans le brevet US 5 626 462, le substrat 110 peut être fait de n'importe quelle matière appropriée, appelée ici première matière. En fonction de l'application prévue pour la pièce 100, cette matière pourrait comprendre des superalliages à base de Ni, à base 20 de Co et à base de Fe. Les superalliages à base de Ni peuvent être ceux contenant les deux phases γ et γ' , en particulier les superalliages à base de Ni contenant les deux phases γ et γ' dans lesquels la phase γ' occupe au moins 40% en volume du superalliage. On sait que ces alliages sont avantageux en raison 25 d'une combinaison de propriétés souhaitables dont la résistance aux températures élevées et la résistance au fluage à haute température. La première matière (substrat) peut également consister en un alliage intermétallique NiAl, car on sait également que ces alliages possèdent une combinaison de propriétés excellentes, dont la résistance aux températures élevées et la résistance au fluage à 30

haute température, qui sont avantageuses pour une utilisation dans des applications à des moteurs de turbine employés dans l'aéronautique. Dans le cas d'alliages à base de Nb, des alliages à base de Nb à revêtement, possédant une excellente résistance à l'oxydation, seront préférables, les que les alliages de Nb/Ti alloys, en particulier les alliages constitués de Nb-(27-40)Ti-(4,5-10,5)Al-(4,5-7,9)Cr-(1,5-5,5)Hf-(0-6)V, les intervalles de composition étant exprimés en pourcentage d'atomes. La première matière (substrat) peut également consister en un alliage à base de Nb qui contient au moins une phase secondaire, par exemple un composé intermétallique contenant Nb, comprenant un siliciure, un carbure ou un borure. De tels alliages sont des composites d'une phase ductile (à savoir l'alliage à base de Nb) et d'une phase de renforcement (à savoir un composé intermétallique contenant Nb). Pour d'autres agencements, la matière du substrat comprend un alliage à base de molybdène, notamment des alliages à base de molybdène (en solution solide) avec Mo_5SiB_2 et Mo_3Si comme phases secondaires. Pour d'autres configurations, la matière du substrat comprend un composite à matrice en céramique, notamment une matrice de carbure de silicium (SiC) renforcée par des fibres de SiC. Pour d'autres configurations, la matière du substrat comprend un composé intermétallique à base de TiAl.

Comme indiqué, par exemple, sur la figure 3, un ou plusieurs trous d'accès 140 sont formés à travers la base 134 d'une gorge respective 132 pour mettre la gorge 132 en communication fluidique avec l'espace intérieur creux respectif 114. Les trous d'accès 140 ont ordinairement une section transversale circulaire ou ovale et peuvent être formés, par exemple, par usinage laser (perçage laser) et/ou projection de liquide abrasif et/ou électro-érosion (EDM) et/ou perçage par faisceau d'électrons. Les trous d'accès 140

peuvent être perpendiculaires à la base 134 des gorges respectives 132 (comme représenté sur la figure 6) ou, plus généralement, peuvent être percés suivant des angles de 20 à 90 degrés par rapport à la base 134 de la gorge.

5 La pièce 100 comporte en outre un revêtement 150 comprenant une ou plusieurs couches 54, 56 disposées par-dessus au moins une partie de la surface 112 du substrat 110. Comme représenté sur la figure 3, par exemple, les gorges 132 et le revêtement 150 définissent conjointement un ou plusieurs canaux 130 pour le refroidissement de la pièce 100. Ordinairement, la longueur des canaux de refroidissement est de l'ordre de 10 à 1000 fois le diamètre des trous de refroidissement par film et, plus particulièrement, de l'ordre de 20 à 100 fois le diamètre des trous de refroidissement par film. Les canaux de refroidissement 130 peuvent avantageusement être utilisés n'importe où sur les surfaces des pièces (corps de pale, bords d'attaque, bords de fuite, bouts d'aubes, parois d'extrémités, plates-formes). En outre, bien que les canaux de refroidissement soient représentés comme ayant des parois rectilignes, les canaux 130 peuvent avoir n'importe quelle configuration, par exemple ils peuvent être rectilignes, incurvés ou avoir de multiples courbes.

10

15

20

Le revêtement 150 épouse la surface extérieure en forme de pale 112 et couvre les gorges 132 en formant les canaux 130. Pour certaines configurations, le revêtement 150 peut être uniquement le premier revêtement ou le revêtement structurel qui couvre les canaux. En l'occurrence, pour certaines applications, on n'utilise pas de revêtement supplémentaire. Cependant, pour d'autres applications, une couche d'accrochage et/ou une couche formant revêtement thermique (TBC) est également utilisée. Le revêtement 150 comprend une seconde matière, qui peut être n'importe quelle

25

30

5 matière appropriée et est amenée à adhérer à la surface extérieure en forme de pale du substrat 110. Pour des configurations particulières, le revêtement 150 a une épaisseur de 0,1 à 2,0 millimètres et, plus particulièrement, de 0,1 à 1 millimètres, et encore plus particulièrement, de 0,1 à 0,5 millimètre pour des 10 pièces industrielles. Pour des pièces destinées à l'aéronautique, cette épaisseur est ordinairement de 0,1 à 0,25 millimètre. Cependant, il est possible d'utiliser d'autres épaisseurs, selon les besoins pour une pièce particulière 100.

10 Comme indiqué, par exemple, sur les figures 3, 6 et 9 à 16, une ou plusieurs dépressions 60 sont formées à travers une ou plusieurs couches 54, 56 du revêtement 150. Comme indiqué, par exemple, sur les figures 3 et 4, la ou les dépressions 60 définissent au moins partiellement au moins une zone de sortie 62 pour le ou 15 les canaux de refroidissement 130. Dans l'exemple de configuration représenté sur les figures 3 et 4, le revêtement 150 comprend au moins un revêtement structurel 54 et un revêtement extérieur 56, et la dépression 60 s'étend à travers le revêtement structurel 54 et le revêtement extérieur 56 afin de définir les zones de sortie 62 pour 20 les canaux de refroidissement 130. Chaque dépression est avantageusement creusée directement au-dessus de la zone du canal de refroidissement, ce qui supprime la nécessité d'un positionnement précis des différents trous de refroidissement par film. De la sorte, le refroidissement par film peut être assuré à 25 l'aide d'opérations d'usinage simplifiées.

30 Les gorges 132 peuvent être rectilignes ou incurvées et avoir des parois rectilignes ou incurvées. Dans la configuration représentée sur la figure 6, la base 134 est plus large que le sommet 136 de la gorge respective 132, si bien que chaque gorge 132 présente une forme rentrante et que chaque canal 130 consiste en un

canal 130 à forme rentrante. Diverses propriétés et avantages des canaux 130 à forme rentrante, ainsi que des techniques pour former les canaux 130 à forme rentrante, sont décrits dans la demande de brevet US 12/943 624.

5 Dans des configurations particulières, la base 134 de chacune des gorges 132 à forme rentrante est au moins deux fois plus large que le sommet 136 de la gorge respective 132. Pour des configurations plus particulières, la base 134 de la gorge respective 132 à forme rentrante est au moins trois fois, et plus particulièrement de l'ordre d'environ trois à quatre fois plus large 10 que le sommet 136 de la gorge respective 132. Des techniques pour former les gorges rentrantes 132 sont proposées dans la demande de brevet US 12/943 624. Le revêtement 150 peut avantageusement être déposé sur des gorges rentrantes 132 sans remplissage (c'est-à- 15 dire sans le remplissage complet ou partiel de la gorge avec un agent de remplissage consommable). De plus, les gorges rentrantes assurent une amélioration du refroidissement par rapport à une gorge à forme simple (à savoir des gorges dont le sommet 136 et la base ont approximativement la même largeur).

20 De même, dans les pièces plus petites, les gorges peuvent être suffisamment petites, si bien que le revêtement 150 peut être déposé par-dessus des gorges 132 sans remplissage (à forme arbitraire, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas à être rentrantes) sans remplissage complet ou partiel de la gorge. Cela pourrait être le cas 25 pour les pièces plus petites, par exemple les pièces conçues pour l'aéronautique.

30 Dans les exemples de configurations illustrés sur les figures 7 et 8, au moins une des couches de revêtement 54, 56 définit une ou plusieurs fentes perméables 144, de façon que la couche respective 54, 56 ne recouvre pas entièrement chaque gorge ou

chacune des gorges 132. Plus particulièrement, dans l'agencement représenté sur la figure 7, le revêtement 150 comprend au moins un revêtement structurel 54 et un revêtement extérieur 56. Comme représenté sur la figure 7, le revêtement extérieur 56 ne recouvre 5 pas entièrement les fentes perméables 144 formées dans le revêtement structurel 54 si bien que les fentes perméables 144 s'étendent à travers le revêtement extérieur 56. Cependant, dans l'exemple de configuration illustré sur la figure 8, au moins une couche du revêtement extérieur 56 recouvre entièrement les gorges respectives 132, en fermant ainsi hermétiquement les canaux respectifs 130. La formation des fentes perméables 144 est décrite 10 dans la demande de brevet US 12/943 646.

15 Comme expliqué dans la demande de brevet US 12/943 646, les fentes perméables 144 peuvent être formées pour réaliser diverses géométries de canaux. Ordinairement, les fentes (intervalles) perméables 144 ont une géométrie irrégulière, la largeur de l'intervalle 144 variant au fur et à mesure de l'application du revêtement structurel et de son accumulation sur une certaine épaisseur. Initialement, lorsque la première partie du revêtement 20 structurel est appliquée sur le substrat 110, la largeur de l'intervalle 144 peut diminuer dans une mesure atteignant 50 % de la largeur du sommet 136 du microcanal 13. De plus, la fente perméable 144 peut être poreuse, auquel cas l'intervalle "poreux" 144 peut avoir quelques connexions, c'est-à-dire quelques points ou emplacements 25 à intervalle nul. Les intervalles 144 assurent avantageusement un relâchement des contraintes pour le revêtement 150.

30 Suivant leur fonction spécifique, les fentes perméables 144, qui traversent soit la totalité des couches de revêtement comme représenté sur la figure 7, soit certains seulement des revêtements, peuvent être formées dans une ou plusieurs couches de revêtement

50, une couche déposée ultérieurement recouvrant les fentes, ce qui assure une fermeture hermétique efficace des fentes 144 comme représenté sur la figure 8. La fente perméable 144 peut offrir l'avantage d'assurer une fonction de relâchement de contraintes ou 5 déformations pour le ou les revêtements structurels. De plus, la fente perméable 144 peut servir de moyen de refroidissement lorsqu'elle traverse tous les revêtements (figure 7), ce qui signifie que, avec cette configuration, les fentes perméables 144 sont conçues pour faire passer un fluide de refroidissement depuis les 10 canaux respectifs 130 jusqu'à une surface extérieure de la pièce. Par ailleurs, la fente perméable 144 peut servir de moyen de refroidissement passif lorsqu'elle est recouverte par les revêtements supérieurs (figure 8), dans le cas où ces revêtements sont endommagés ou écaillés.

15 La ou les dépressions 60 peuvent être orientées suivant divers angles par rapport aux canaux de refroidissement 130. Dans les exemples de configurations représentés sur les figures 3, 6 et 9, les dépressions respectives 60 sont orientées d'une manière approximativement perpendiculaire aux canaux de refroidissement 130. Au sens de la présente description, l'adverbe "approximativement" doit s'entendre comme représentant une marge de $\pm 10^\circ$. Dans l'exemple de configuration représenté sur la figure 11, la dépression 60 a un angle d'incidence non orthogonal par rapport aux canaux de refroidissement 130. Ainsi, dans cet 20 agencement, la ou les dépressions 60 et les canaux 130 ne sont pas à angle droit. Dans l'agencement représenté sur la figure 11, l'orientation non orthogonale entre la dépression 60 et les canaux 130 est avantageuse en ce qui concerne la distribution de l'agent de refroidissement par film par rapport à la direction du flux de gaz 25 chauds.

Dans certaines configurations, une seule dépression 60 est créée pour un ensemble donné de canaux de refroidissement 100, comme indiqué par exemple sur les figures 3, 6, 9 et 11. Cependant, dans d'autres configurations, de multiples dépressions 60 sont formées à travers la ou les couches de revêtement 54, 56. La figure 5 12 illustre un tel exemple d'agencement.

Les dépressions 60 peuvent être continues ou interrompues. Ainsi, les dépressions continues 60 peuvent avoir une profondeur approximativement constante ou être lisse avec une forme conique 10 ou incurvée. Un exemple de dépression interrompue 60 est représenté sur les figures 13 et 14. Dans l'agencement illustré, de multiples gorges 132 sont formées dans le substrat de façon que de multiples canaux de refroidissement 130 soient définis par le revêtement 150 et les gorges 132. Comme indiqué sur la figure 14, 15 la dépression 60 comprend une ou plusieurs crêtes de revêtement 64 adjacentes à des zones de sortie respectives 62. Dans l'exemple d'agencement représenté sur les figures 13 et 14, des crêtes de revêtement séparent des zones de sortie voisines 62. Cependant, dans l'agencement représenté sur la figure 3, la dépression 60 ne 20 comprend pas de crête de revêtement mais, en revanche consiste en une dépression continue.

Bien que les dépressions représentées sur les figures 4, 5, 10 et 14 aient des parois approximativement perpendiculaires au sommet des canaux, dans d'autres configurations, les parois des 25 dépressions peuvent être formées suivant d'autres angles par rapport aux canaux. Par exemple, la dépression 60 peut avoir une paroi de sortie oblique 66, comme indiqué sur la figure 15. Dans l'exemple d'agencement représenté sur la figure 15, la dépression 60 comprend à la fois une paroi de sortie oblique 66 et une paroi d'entrée oblique 30 68. De plus, bien que les parois d'entrée et de sortie 68, 66 soient

représentées comme étant rectilignes, elles peuvent également être incurvées ou arrondies.

Les dépressions 60 peuvent avoir une emprise symétrique ou asymétrique. Par exemple, en ce qui concerne les dépressions 60 représentées sur les figures 3, 6, 9 et 11 à 13, l'emprise de la dépression respective est la même aux deux extrémités de la dépression. Cependant, dans la configuration représentée sur la figure 16, l'emprise 70 de la dépression 60 est plus petite à la première extrémité 72 de la dépression 60 qu'à la seconde extrémité 74 de la dépression 60. De plus, bien que les canaux de refroidissement 130 soient représentés comme étant régulièrement espacés, dans d'autres configurations (non représentées), les canaux sont plus faiblement espacés les uns des autres près de la seconde extrémité 74 de la dépression 60 qu'ils ne le sont près de la première extrémité 72 de la dépression 60. En outre, bien que les canaux de refroidissement 130 soient représentés comme ayant le même volume, dans d'autres configurations (non représentées), les canaux de refroidissement 130 proches de la première extrémité 72 de la dépression 60 ont un plus petit volume qu'au moins certains des canaux de refroidissement 130 proches de la seconde extrémité 74 de la dépression 60. De plus, bien que les dépressions 60 représentées sur les figures 3, 6, 9 et 11 à 13 soient constituées par des dépressions rectilignes 60, dans l'agencement représenté sur la figure 17, la dépression 60 consiste en une dépression incurvée 60. De même, les parois de la dépression peuvent être rectilignes, comme représenté sur la figure 3, obliques comme représenté sur la figure 15 ou incurvées.

Dans l'exemple d'agencement représenté sur les figures 9 et 10, le revêtement 150 comprend un revêtement structurel 54 et un revêtement extérieur 56, et la dépression 60 s'étend à travers le

revêtement extérieur 56 mais ne s'étend pas entièrement à travers le revêtement structurel 54. Dans l'agencement illustré, des trous 142 de refroidissement par film s'étendent à travers le revêtement structurel 54 pour relier les canaux de refroidissement respectifs 5 130 à la dépression 60. Les trous 142 de refroidissement par film peuvent être ronds ou peuvent également être des trous d'une forme non circulaire. Dans cette configuration, les trous 142 de refroidissement par film et la dépression 60 définissent les zones de sortie 62 pour les canaux de refroidissement 130. Ainsi, dans 10 l'exemple de configuration représenté sur les figures 9 et 10, le microcanal 130 fait passer un agent de refroidissement d'un trou d'accès 140 à un trou 142 de refroidissement par film. Dans cette configuration, l'orientation des trous 142 de refroidissement par film peut être alignée avec celle des dépressions de certains 15 agencements. Cependant, dans d'autres agencements, l'orientation des trous 142 de refroidissement par film est différente de l'orientation de la ou des dépressions 60, comme indiqué par la direction de l'écoulement de l'agent de refroidissement depuis les zones de sortie 62 sur la figure 11. La création des différentes 20 orientations des trous 142 de refroidissement par film et de la ou des dépressions 60 permet d'améliorer encore le refroidissement.

Un procédé de fabrication d'une pièce 100 est illustré par les figures 2 à 6, 9 à 13 et 15 à 20. Comme indiqué, par exemple, sur la figure 18, le procédé de fabrication comporte la formation d'une ou 25 de plusieurs gorges 132 dans une surface 112 d'un substrat 110. Comme expliqué plus haut en référence à la figure 2, le substrat 110 a au moins un espace intérieur creux 114. Comme indiqué, par exemple, sur la figure 3, chacune des gorges 132 s'étend au moins partiellement sur la surface 112 du substrat 110 et a une base 134. 30 Bien que les gorges 132 et les canaux 130 soient représentés sur les

figures comme étant rectangulaires, ils peuvent aussi prendre d'autres formes. Par exemple, les gorges 132 (et les canaux 130) peuvent être des gorges rentrantes 132 (des canaux rentrants 130), comme décrit en référence à la figure 6. De plus, les parois latérales 5 des gorges 132 (des canaux 130) ne sont pas forcément rectilignes. Pour diverses applications, les parois latérales des gorges 132 (des canaux 130) peuvent être incurvées ou arrondies.

Les gorges 132 peuvent être formées à l'aide de diverses techniques. Par exemple, les gorges 132 peuvent être formées à 10 l'aide d'un ou de plusieurs des procédés suivants : projection de liquide abrasif, usinage électrochimique (ECM) en plongée, usinage par électro-érosion (EDM) avec une électrode tournante en un seul point (fraisage par électro-érosion), et usinage laser (perçage laser). Des exemples de techniques d'usinage laser sont décrits dans la 15 demande de brevet US 12/697 005. Des exemples de techniques d'électro-érosion sont décrits dans la demande de brevet US 12/790 675.

Dans des configurations particulières du processus, les gorges 132 sont formées en dirigeant un jet de liquide abrasif 160 vers la surface 112 du substrat, comme illustré schématiquement sur 20 la figure 18. Des exemples de processus et de systèmes de perçage par injection d'eau sont proposés dans la demande de brevet US 12/790 675. Comme expliqué dans la demande de brevet US 12/790 675, le procédé par injection d'eau utilise ordinairement un 25 courant à haute vitesse de particules abrasives (par exemple, du "sable" abrasif) en suspension dans un courant d'eau à haute pression. La pression de l'eau peut varier considérablement, mais elle est souvent de l'ordre de 35 à 620 MPa. On peut utiliser un certain nombre de matières abrasives telles que le grenat, l'oxyde d'aluminium, le carbure de silicium et des billes de verre. Le 30

procédé par injection d'eau offre l'avantage de ne pas impliquer un fort réchauffement du substrat 110. Par conséquent, il n'y a pas de "zone affectée par la chaleur" formée sur la surface 112 du substrat, ce qui, sinon, pourrait nuire à la géométrie de sortie voulue pour les gorges 132.

5 De plus, et comme expliqué dans la demande de brevet US 12/790 675, le système à injection d'eau peut comprendre un dispositif multi-axe à commande numérique (CNC). Les systèmes CNC eux-mêmes sont connus dans la technique et sont décrits, par exemple, dans la publication de brevet US 2005/0013926. Les systèmes CNC permettent à l'outil de coupe de se déplacer sur un certain nombre d'axes X, Y et Z, ainsi que sur des axes de rotation.

10 Comme indiqué sur la figure 19, le procédé de fabrication comporte en outre la formation d'un ou de plusieurs trous d'accès 140 à travers la base 134 d'une, respective, des gorges 132, afin de 15 mettre la gorge 132 en communication fluidique avec l'espace intérieur creux respectif 114. Des trous d'accès sont décrits plus haut et peuvent être formés, par exemple par usinage laser (perçage laser) et/ou projection d'un liquide abrasif et/ou électro-érosion (EDM) et/ou perçage par faisceau d'électrons

20 Comme indiqué sur la figure 20, le procédé de fabrication comporte en outre le dépôt d'un revêtement 150 par-dessus au moins une partie de la surface 112 du substrat 110, de façon que les gorges 132 et le revêtement 150 définissent conjointement un ou plusieurs canaux 130 pour le refroidissement de la pièce 100. Cela peut 25 inclure le dépôt d'une ou de plusieurs couches 54 d'un revêtement structurel et éventuellement le dépôt de couches de revêtement supplémentaires 56 par-dessus le revêtement structurel 54. Par exemple, dans certaines applications, on peut utiliser une couche 30 d'accrochage et/ou un revêtement formant barrière thermique (TBC).

Cependant, dans d'autres applications, on n'utilise aucun revêtement supplémentaire. Le revêtement structurel 54 et le revêtement supplémentaire éventuel 56 peuvent être déposés à l'aide de diverses techniques. Dans des procédés particuliers, le revêtement structurel 54 est déposé par implantation ionique par immersion plasma (arc cathodique). Des exemples d'un dispositif et d'un procédé d'implantation ionique par immersion plasma sont divulgués dans la demande de brevet US 2008/0138529. En bref, l'implantation ionique par immersion plasma consiste à introduire une cathode en matière de revêtement dans un milieu sous vide à l'intérieur d'une chambre sous vide, à disposer un substrat 110 dans le milieu sous vide, à appliquer un courant à la cathode pour former un arc cathodique sur une surface de la cathode, en provoquant, du fait de l'arc, une érosion de matière de revêtement à partir de la surface de la cathode, et à déposer de la matière de revêtement sur la surface 112 du substrat depuis la cathode.

Dans un exemple nullement limitatif, le procédé de dépôt par implantation ionique par immersion plasma consiste en un procédé de dépôt par immersion plasma en phase vapeur. Des exemples nullement limitatifs d'un revêtement déposé par implantation ionique par immersion plasma comprennent le revêtement structurels 54 ainsi que les revêtements d'accrochage et les revêtements résistant à l'oxydation (qui sont identifiés ici individuellement et collectivement par le repère 50), comme expliqué plus en détail dans le brevet US 5 626 462. Dans certaines pièces 100 de veine de gaz chauds, le revêtement structurel 54 comprend un alliage à base de nickel ou à base de cobalt et, plus particulièrement, comprend un superalliage ou un alliage de (NiCo)CrAlY. Par exemple, si la matière du substrat est un superalliage à base de Ni contenant les deux phases γ et γ' , le

revêtement structurel 54 peut comprendre des compositions similaires de matières, comme expliqué plus en détail dans le brevet US 5 626 462.

Dans d'autres configurations de processus, le premier revêtement structurel 54 est déposé en réalisant une projection thermique et/ou une projection à froid. Par exemple, le processus de projection thermique peut consister en une projection par combustion ou une projection par plasma, la projection par combustion pouvant comporter une projection à grande vitesse d'un combustible en présence d'oxygène (HVOF) ou la projection à grande vitesse d'un combustible en présence d'air (HVAF), et la projection par plasma pouvant consister en une projection par plasma atmosphérique (par exemple de l'air ou un gaz inerte) ou une projection par plasma à basse pression (LPPS, également appelée projection par plasma sous vide ou VPS). Dans un exemple nullement limitatif, un revêtement de NiCrAlY est déposé par HVOF ou HVAF. D'autres exemples de techniques pour déposer les couches 54, 56 de revêtement structurel comprennent, d'une manière nullement limitative, la pulvérisation, le dépôt par voie physique en phase vapeur par faisceau d'électrons, le dépôt autocatalytique et le dépôt électrolytique.

Dans certaines configurations, il est souhaitable d'employer de multiples techniques de dépôt pour déposer les couches de revêtement structurel 54 et de revêtement supplémentaire éventuel 50. Par exemple, une première couche de revêtement structurel peut être déposée par implantation ionique par immersion plasma, et une couche déposée ultérieurement et des couches supplémentaires éventuelles (non représentées) peuvent être déposées à l'aide d'autres techniques, par exemple un processus de projection par combustion ou un processus de projection par plasma. Selon les

5 matières utilisées, le recours à différentes techniques de dépôt pour les couches de revêtement peut apporter des avantages en ce qui concerne des propriétés telles que, mais d'une manière nullement limitative, la tolérance à la déformation, la résistance mécanique, l'adhérence et/ou la ductilité.

10 Plus généralement, et comme expliqué dans le brevet US 5 626 462, la matière utilisée pour former le revêtement 150 consiste en n'importe quelle matière adéquate. Dans le cas d'une pièce 100 de turbine à refroidissement, la matière du revêtement structurel doit être apte à supporter des températures atteignant environ 1150°C, tandis que le TBC peut supporter des températures atteignant environ 1425°C. Le revêtement structurel 54, 56 doit être compatible avec la surface extérieure 112, en forme de pale, du substrat 110 et doit être apte à adhérer à ladite surface extérieure 112, comme expliqué dans la demande de brevet US 12/943 563.

15 Comme expliqué dans le brevet US 5 626 462, si la matière du substrat est un superalliage à base de Ni contenant les deux phases γ et γ' , les matières pour le revêtement structurel 54 peuvent avoir des compositions de matières identiques à celle du substrat. Une telle combinaison de matières du revêtement 54 et du substrat 110 est préférable pour des applications particulières, notamment lorsque les températures maximales de l'environnement de fonctionnement (c'est-à-dire la température des gaz) sont similaires à celles de moteurs existants (par exemple inférieures à 1650°C).
20 Dans le cas où la matière du substrat est un alliage à base de Nb, un alliage intermétallique à base de NiAl ou un alliage intermétallique à base de TiAl, le revêtement structurel 54 peut également avoir des compositions de matières similaires.

25 Comme expliqué dans le brevet US 5 626 462, dans d'autres applications, telles que des applications qui imposent des

contraintes de température, d'environnement ou autres qui rendent inadéquate l'utilisation d'un revêtement monolithique 54 en alliage métallique ou intermétallique, il est préférable que le revêtement structurel 54 comprenne des composites. Les composites peuvent être constitués de phases d'alliages intermétalliques et métalliques ($I_S + M$) et de phases intermétalliques-intermétalliques ($+I_M$). L'alliage métallique M peut être le même alliage que celui utilisé pour le substrat 110 ou une matière différente, suivant les besoins de la pièce 100. Par ailleurs, les deux phases constitutives doivent être chimiquement compatibles, comme expliqué dans la demande de brevet US12/943 563. On notera également que, dans un revêtement donné, on peut également utiliser de multiples composites I_S+M ou I_S+I_M , et que ces composites ne se limitent pas à des combinaisons de deux matières ou de deux phases. On trouvera, dans le brevet US 5 626 462, des détails supplémentaires concernant des exemples de matières pour revêtements structurels.

Considérant maintenant les figures 3 à 6, 9 à 13, 15 et 16, le procédé de fabrication comporte en outre la formation d'une ou de plusieurs dépressions 60 à travers une ou plusieurs couches 54, 56 du revêtement 150 afin de définir au moins partiellement au moins une zone de sortie 62 pour le ou les canaux de refroidissement 130. Dans des configurations particulières, le revêtement 150 comprend au moins un revêtement structurel 54 et un revêtement extérieur 56. Dans les exemples d'agencements représentés sur les figures 3, 4, 6 et 11 à 16, la ou les dépressions 60 sont formées de manière à s'étendre à travers le revêtement structurel 54 et le revêtement extérieur 56 afin de définir la ou les zones de sortie 62 pour le ou les canaux de refroidissement 130. Avantageusement, en supprimant les revêtements sous la forme d'une dépression peu profonde qui relie de multiples sorties/extrémités de canaux (et en découvrant de

ce fait les extrémités des canaux sous la forme de "trous" de refroidissement qui injectent leurs flux dans la dépression) à l'aide d'une opération telle que l'élimination par projection d'eau abrasive, pour supprimer de manière nette et précise une bande des revêtements pour plusieurs microcanaux situés sur une même rangée, les coûts de fabrication sont réduits sans perte de performances de refroidissement par film.

Plus généralement, la ou les dépressions 60 peuvent être formées à l'aide d'une projection de liquide abrasif et/ou d'un usinage électrochimique en plongée (ECM) et/ou d'un électro-usinage (EDM) avec une électrode tournante (fraisage EDM) et/ou usinage laser et/ou fraisage classique à commande numérique (CNC). Chacune de ces techniques peut être employée pour usiner des revêtements métalliques. Si un ou plusieurs revêtements est non métallique, la ou les dépressions peuvent alors être formées par projection de liquide abrasif et/ou usinage laser et/ou fraisage classique à commande numérique. Des exemples de procédés et de systèmes de perçage par projection d'eau sont dans la demande de brevet US 12/790 675. Des exemples de techniques d'usinage laser sont décrits dans la demande de brevet US 12/697 005 et des exemples de techniques EDM sont décrits dans la demande de brevet US 12/790 675. Dans d'autres configurations de procédés, la ou les dépressions 60 peuvent être formées à l'aide d'une technique de masquage, auquel cas les revêtements sont déposés à l'aide d'un masque, si bien que les revêtements ne sont pas appliqués dans la ou les dépressions 60. Les procédés de masquage nécessitent ordinairement des étapes supplémentaires de post-usinage, par exemple en recourant à une ou plusieurs techniques d'enlèvement de matière indiquées plus haut.

Dans de nombreuses configurations de pièces de veine de gaz chauds, le revêtement 150 comprend au moins un revêtement structurel 54 et un revêtement extérieur 56. Dans l'exemple de configuration représenté sur les figures 9 et 10, les dépressions 60 sont formées de manière à s'étendre à travers le revêtement extérieur 56 mais à ne pas s'étendre entièrement à travers le revêtement structurel 54. Dans cette configuration, le procédé comporte en outre la formation d'un ou de plusieurs trous 142 de refroidissement par film à travers le revêtement structurel 54 afin de relier le ou les canaux de refroidissement respectifs 130 à la dépression respective 60, comme représenté, par exemple, sur la figure 10. Dans cette configuration, le ou les trous 142 de refroidissement par film et la ou les dépressions 60 définissent la ou les zones de sortie 62. Les trous 142 de refroidissement par film peuvent être formés à l'aide d'une ou de plusieurs techniques différentes, dont la projection de liquide abrasif, l'ECM en plongée, l'EDM avec une électrode tournante (fraisage EDM), l'EDM classique (l'électrode ne tourne pas) et l'usinage laser.

La création de dépressions dans la surface de pièces de veine de gaz chauds offre l'avantage de constituer un moyen relativement peu coûteux pour former des zones de sortie pour des canaux de refroidissement qui s'étendent sur la surface du substrat de la pièce. De plus, les dépressions peuvent en outre servir à améliorer le refroidissement de la surface des pièces de veine de gaz chauds en maintenant l'agent de refroidissement qui sort des canaux tout contre la surface chaude au lieu de l'en séparer rapidement et qu'il ne se mélange de manière non souhaitable avec les gaz de combustion. En outre, l'utilisation de dépressions pour définir au moins partiellement les zones de sortie pour les canaux de refroidissement permet une orientation plus souple du

26

refroidissement par film par rapport à la disposition des canaux de refroidissement, ce qui peut encore améliorer le refroidissement.

5

10

15

LISTE DES REPERES

10	Système de turbine à gaz
12	Compresseur
5	Chambre de combustion
14	Turbine
16	Arbre
20	Injecteur de combustible
52	Normale à la surface
10	Revêtement structurel
54	Revêtements) extérieur(s)
60	Dépression
62	Zone(s) de sortie
64	Crêtes de revêtement
15	Paroi de sortie
66	Paroi d'entrée
68	Emprise de la dépression
70	Première extrémité de la dépression
72	Seconde extrémité de la dépression
20	Flux de gaz chauds
100	Pièce de veine de gaz chauds
110	Substrat
112	Surface extérieure du substrat
114	Espace intérieur creux
25	Surface intérieure du substrat
116	Canaux à forme rentrante
130	Gorge(s) à forme rentrante
132	Base de gorge
134	Sommet (ouverture) de gorge
30	Paroi de gorge à forme rentrante

140	Trou(s) d'accès
142	Trou(s) de refroidissement par film(s)
144	Intervalle(s) poreux
150	Revêtement(s)
160	Jet de liquide abrasif

REVENDICATIONS

1. Pièce (100) comportant :

un substrat (110) comprenant une surface extérieure (112) et
5 une surface intérieure (116), la surface intérieure (116) définissant
au moins un espace intérieur creux (114), la surface extérieure
(112) définissant une ou plusieurs gorges (132), la ou chacune des
gorges (132) s'étendant au moins partiellement sur la surface
extérieure (112) du substrat (110) et ayant une base (134), et un ou
10 plusieurs trous d'accès (140) traversant la base (134) de la gorge
respective ou des gorges respectives (132) afin de mettre la gorge
(132) en communication fluidique avec l'espace intérieur creux
respectif ou certains, respectifs, des espaces intérieurs creux (114) ;
et

15 un revêtement (150) disposé par-dessus au moins une partie
de la surface extérieure (112) du substrat (110), le revêtement (150)
comprenant au moins une première et une deuxième couches de
revêtement structurel (54, 56), la première couche (54) de
revêtement structurel ne s'étendant pas par-dessus la ou les gorges
20 (132), et la deuxième couche (56) de revêtement structurel étant
disposée par-dessus la première couche du revêtement structurel
(54) et s'étendant par-dessus la ou les gorges (132), de façon que la
ou les gorges (132) et la deuxième couche du revêtement structurel
(56) définissent conjointement un ou plusieurs canaux (130) pour le
25 refroidissement de la pièce (100), dans lequel une ou plusieurs
dépressions (60) sont formées à travers une ou plusieurs couches
(54, 56) du revêtement (150), et dans lequel les canaux sont plus
faiblement espacés les uns des autres près de la seconde extrémité

(74) de la dépression (60) qu'ils ne le sont près de la première extrémité (72) de la dépression (60).

5 2. Pièce (100) selon la revendication 1, dans laquelle le revêtement (150) comprend au moins un revêtement structurel (54) et un revêtement extérieur (56), et dans laquelle la ou les dépressions (60) s'étendent à travers le revêtement structurel (54) et le revêtement extérieur (56) afin de définir la ou les zones de sortie (62) pour le ou les canaux de refroidissement (130).

10

3. Pièce (100) selon la revendication 1, comprenant une pluralité de dépressions (60).

15

4. Pièce (100) selon la revendication 1, dans laquelle une pluralité de gorges (132) sont formées dans le substrat, dans laquelle une pluralité de canaux de refroidissement (130) sont définis par le revêtement (150) et les gorges (132), et dans laquelle la dépression ou au moins une des dépressions (60) comprend une ou plusieurs crêtes de revêtement (64) adjacentes à des zones de sortie respectives (62).

20

5. Pièce (100) selon la revendication 1, dans laquelle la ou les dépressions (60) ont une paroi de sortie oblique (66).

25

6. Pièce (100) selon la revendication 1, dans laquelle une emprise (70) de la dépression (60) est plus petite à une première extrémité (72) de la dépression (60) qu'à une seconde extrémité (74) de la dépression (60).

7. Pièce (100) selon la revendication 6, comprenant une pluralité de gorges (132).

8. Pièce (100) selon la revendication 6, dans laquelle une 5 pluralité de gorges (132) sont formées dans le substrat, dans laquelle une pluralité de canaux de refroidissement (130) sont définis par le revêtement (150) et les gorges (132), et dans laquelle les canaux de refroidissement (130) proches de la première extrémité (72) de la dépression (60) ont un plus petit volume qu'au 10 moins certains des canaux de refroidissement (130) proches de la seconde extrémité (74) de la dépression (60)

9. Pièce (100) selon la revendication 1, dans laquelle le revêtement (150) comprend au moins un revêtement structurel (54) 15 et un revêtement extérieur (56), dans laquelle la ou les dépressions (60) s'étendent à travers le revêtement extérieur (56) mais ne s'étendent pas entièrement à travers le revêtement structurel (54), dans laquelle un ou plusieurs trous (142) de refroidissement par film s'étendent à travers le revêtement structurel pour relier le ou 20 les canaux de refroidissement respectifs (130) à la dépression respective (60), de façon que le ou les trous (142) de refroidissement par film et la ou les dépressions (60) définissent la ou les zones de sortie (62).

25 10. Procédé de fabrication d'une pièce (100), le procédé comportant :

la formation d'une ou de plusieurs gorges (132) dans une surface extérieure (112) d'un substrat (110), le substrat (110) ayant au moins un espace intérieur creux (114), la gorge ou chacune des

gorges (132) s'étendant au moins partiellement sur la surface extérieure (112) du substrat (110) et ayant une base (134) ;

5 la formation d'un ou de plusieurs trous d'accès (140) à travers la base (134) d'une gorge respective ou de l'une des gorges respectives (132), afin de mettre la gorge (132) en communication fluidique avec l'espace intérieur creux respectif ou avec certains des espaces intérieurs creux respectifs (114) ;

10 le dépôt d'un revêtement (150) par-dessus au moins une partie de la surface extérieure (112) du substrat (110), de façon que la ou les gorges (132) et le revêtement (150) définissent conjointement un ou plusieurs canaux (130) pour le refroidissement de la pièce (100) ; et

15 la formation d'une ou de plusieurs dépressions (60) à travers une ou plusieurs couches (54, 56) du revêtement (150) afin de définir au moins partiellement une zone de sortie (62) pour le ou les canaux de refroidissement (130), dans lequel l'emprise (70) de la dépression (60) est plus petite à la première extrémité (72) de la dépression (60) qu'à la seconde extrémité (74) de la dépression (60).

20

25

1/9

FIG. 1

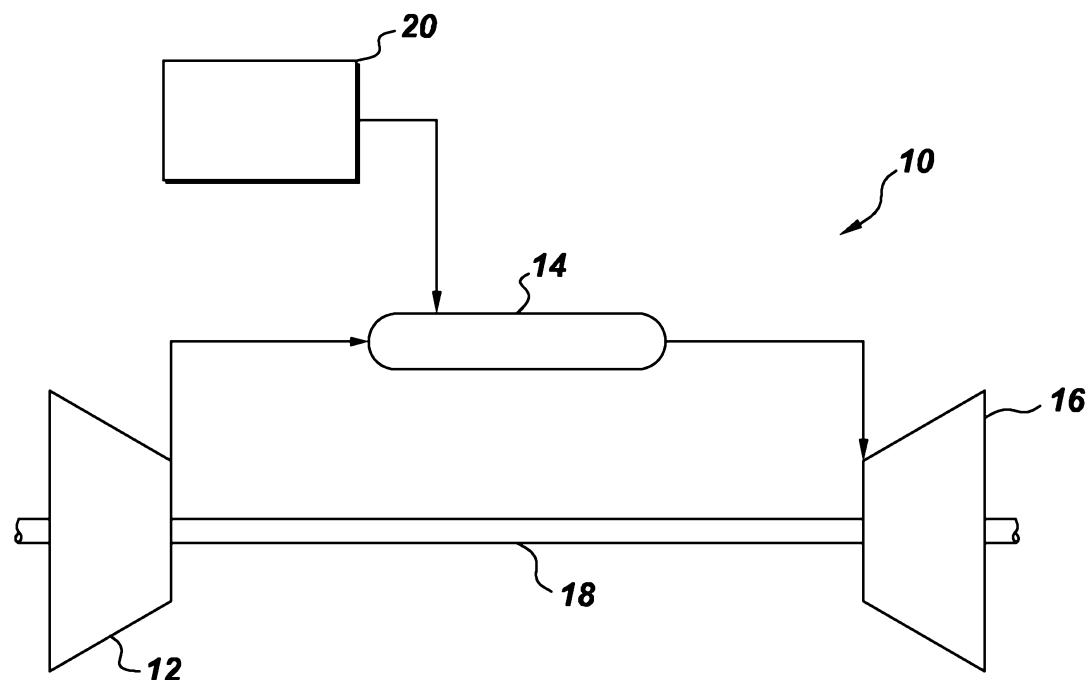
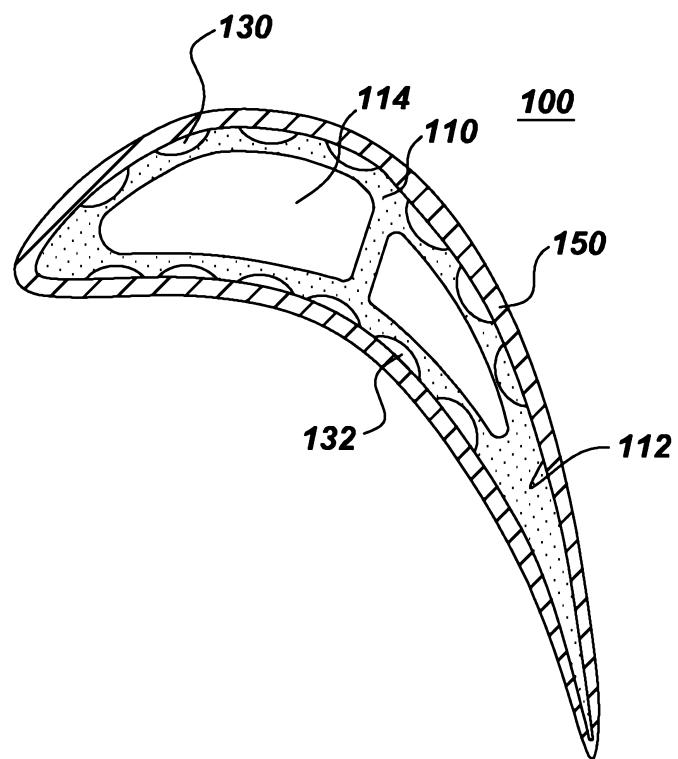


FIG. 2



2/9

FIG. 3

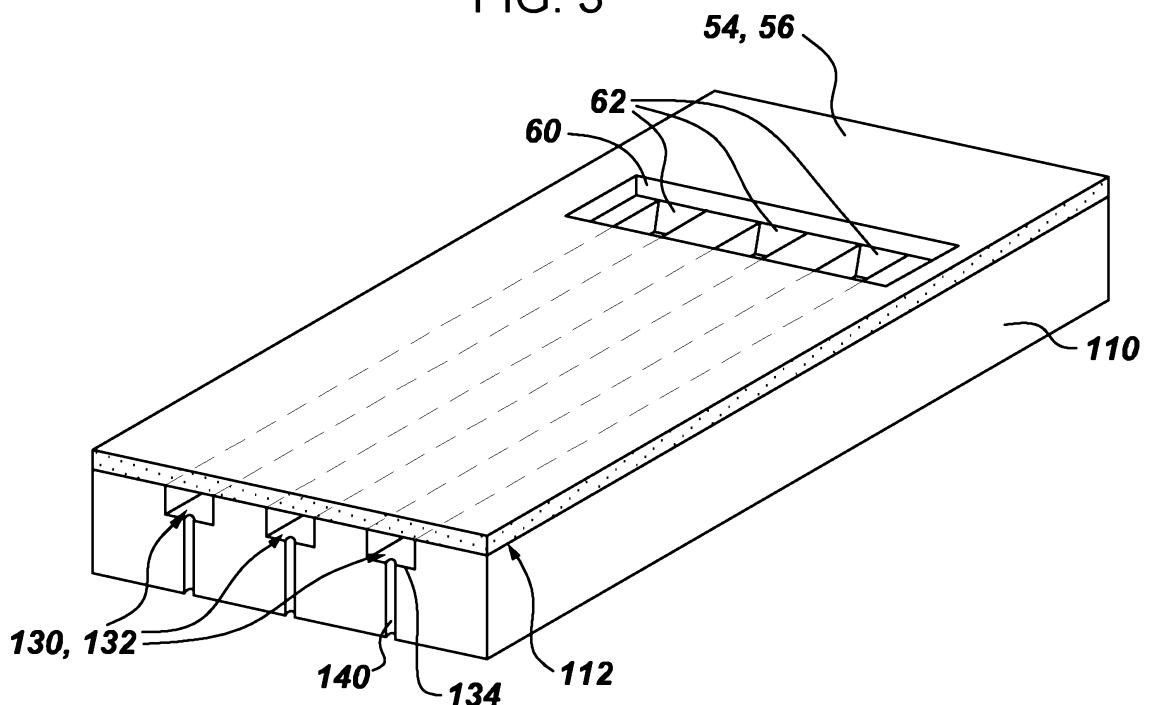
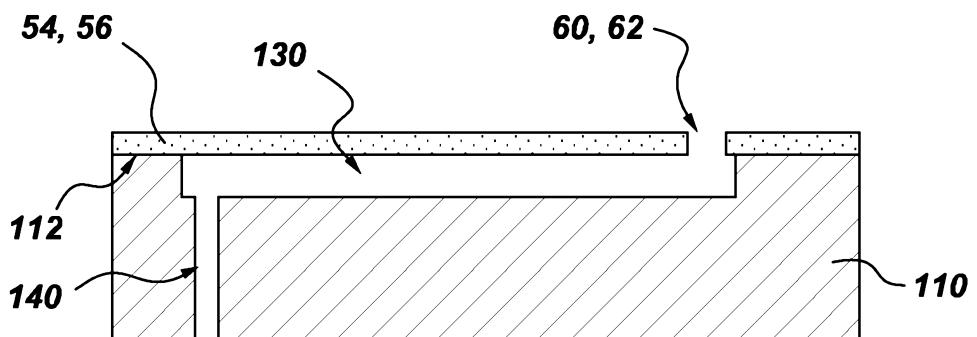


FIG. 4



3/9

FIG. 5

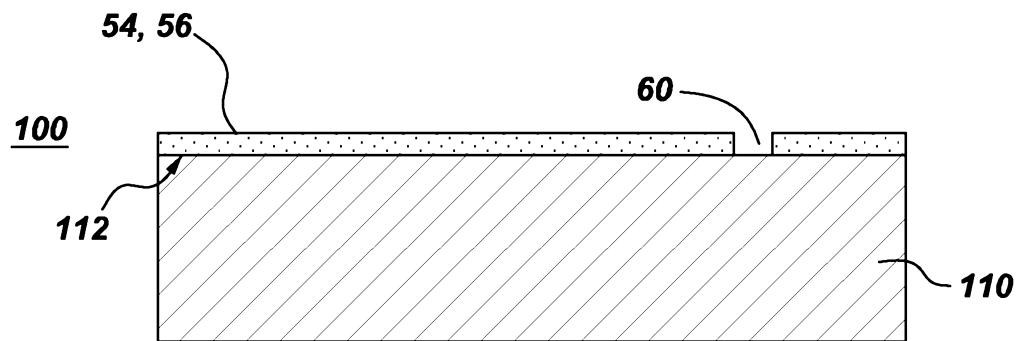
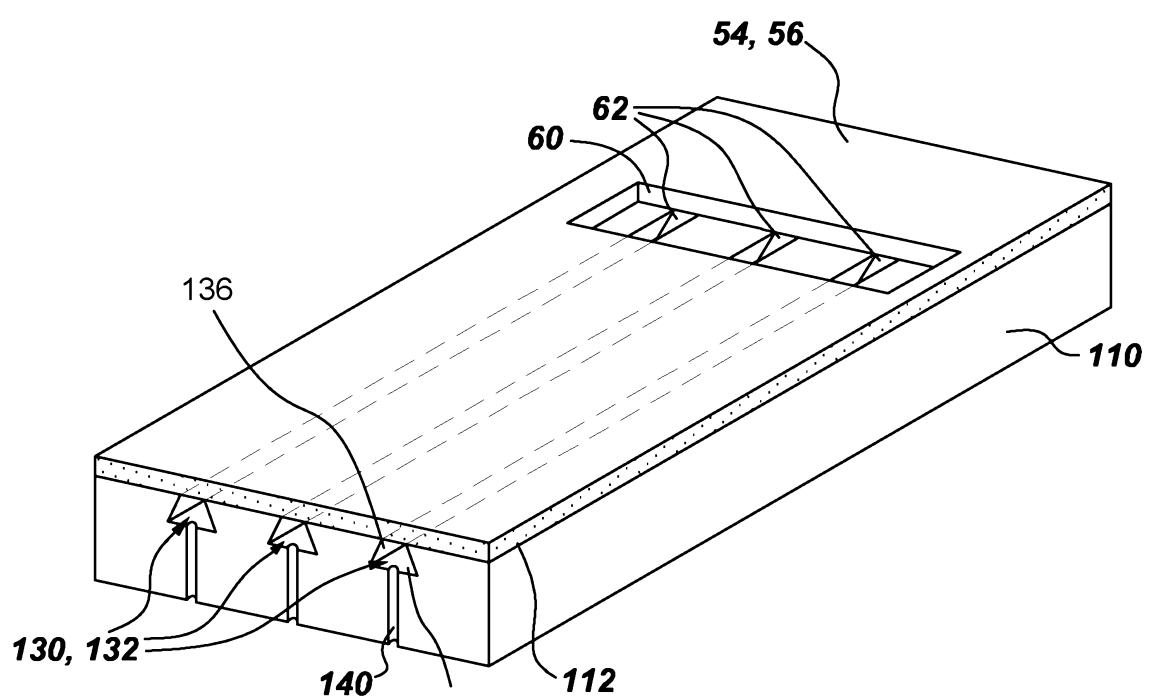


FIG. 6



4/9

FIG. 7

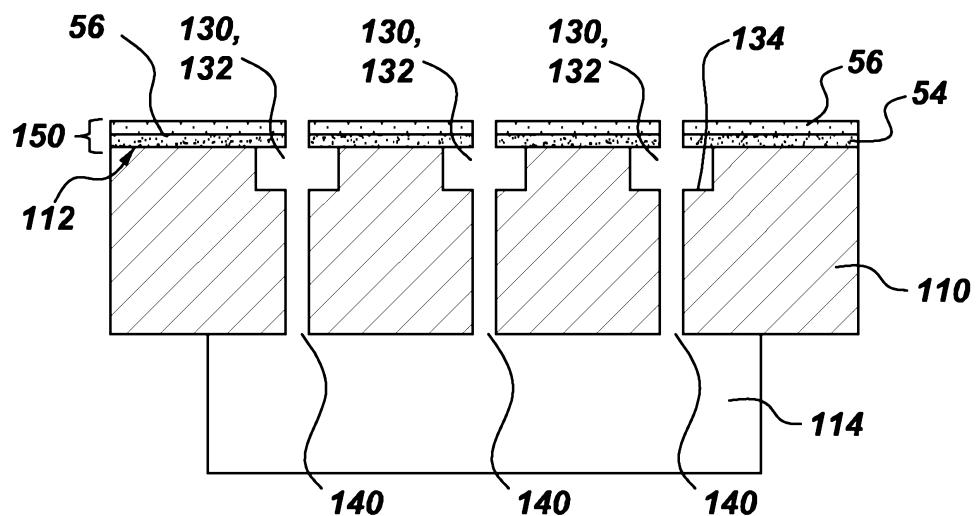
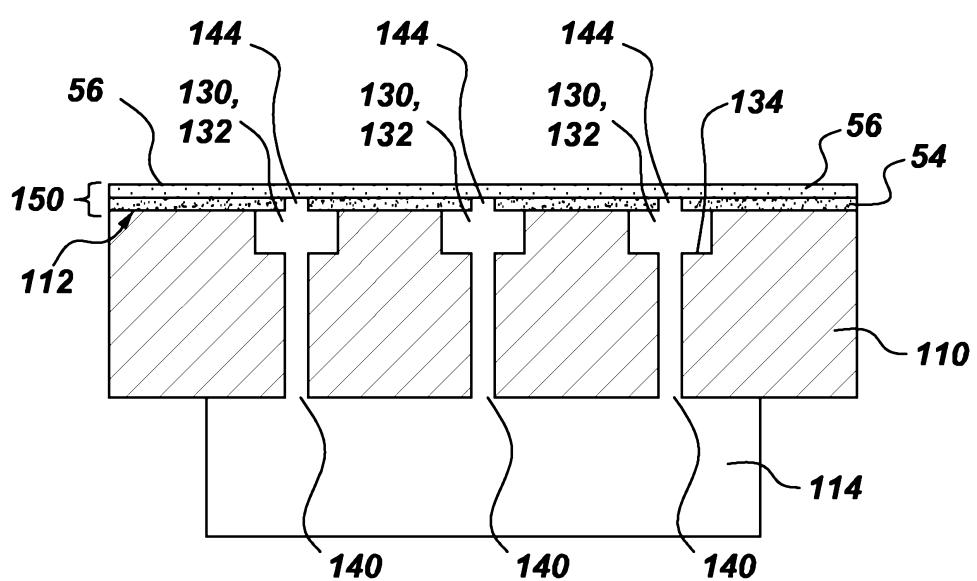
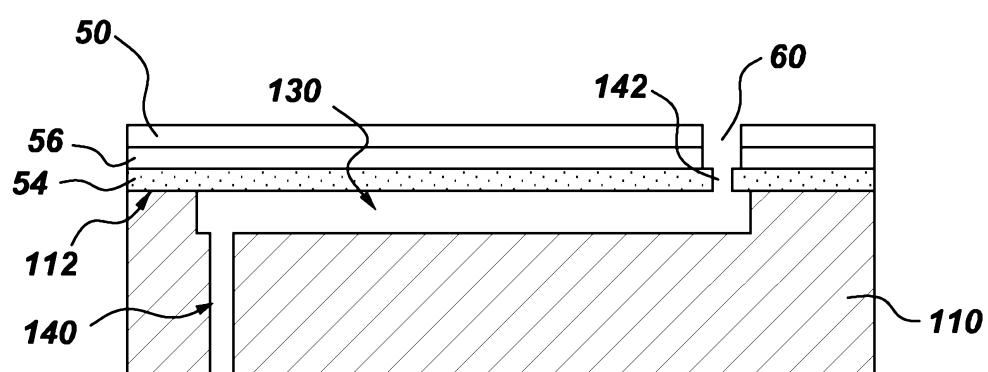
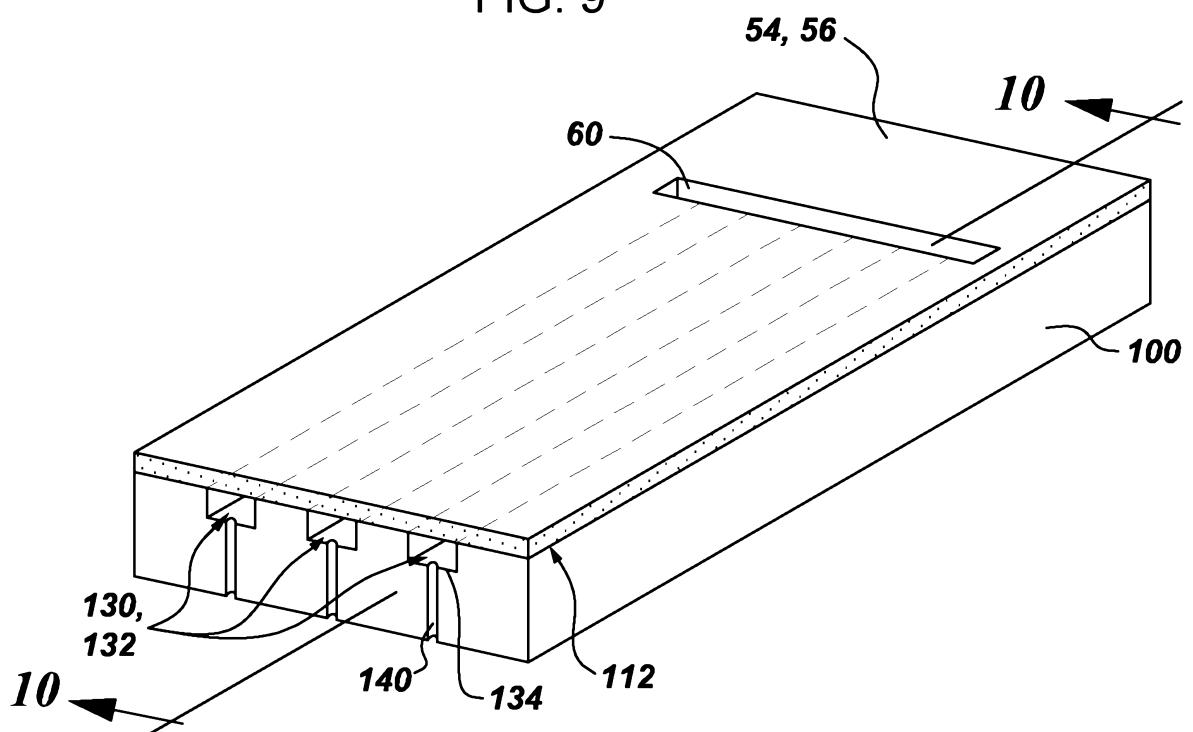


FIG. 8



5/9

FIG. 9



6/9

FIG. 11

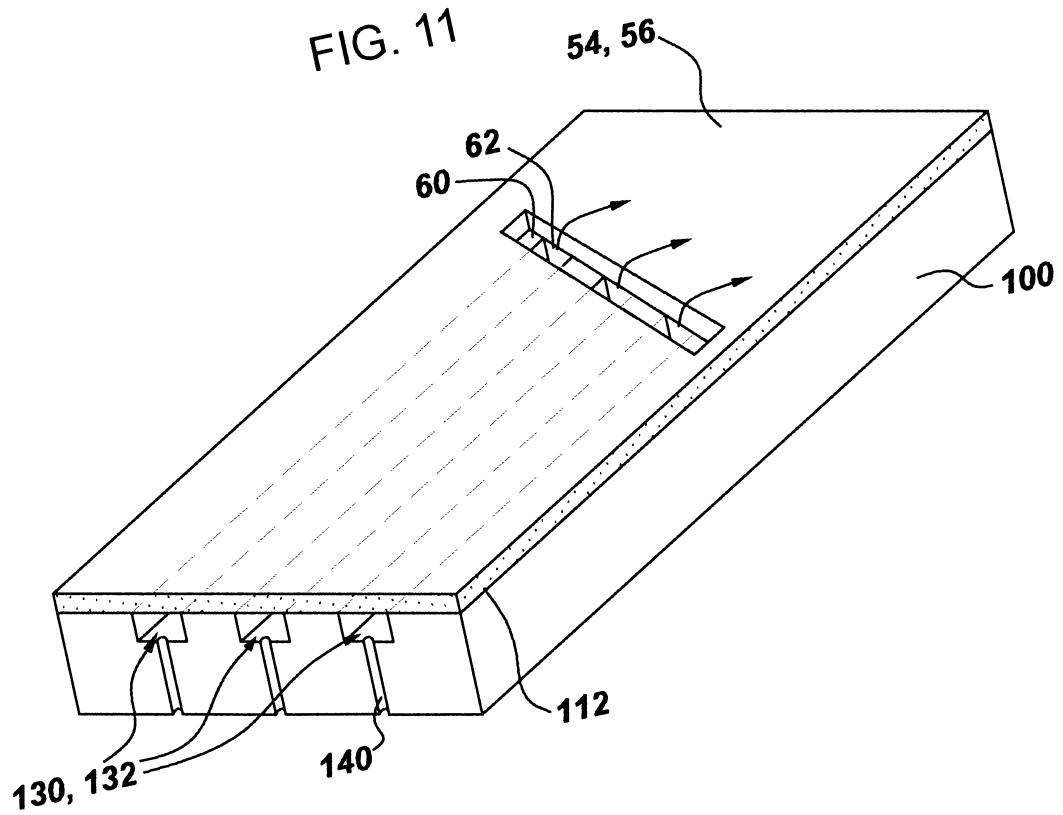
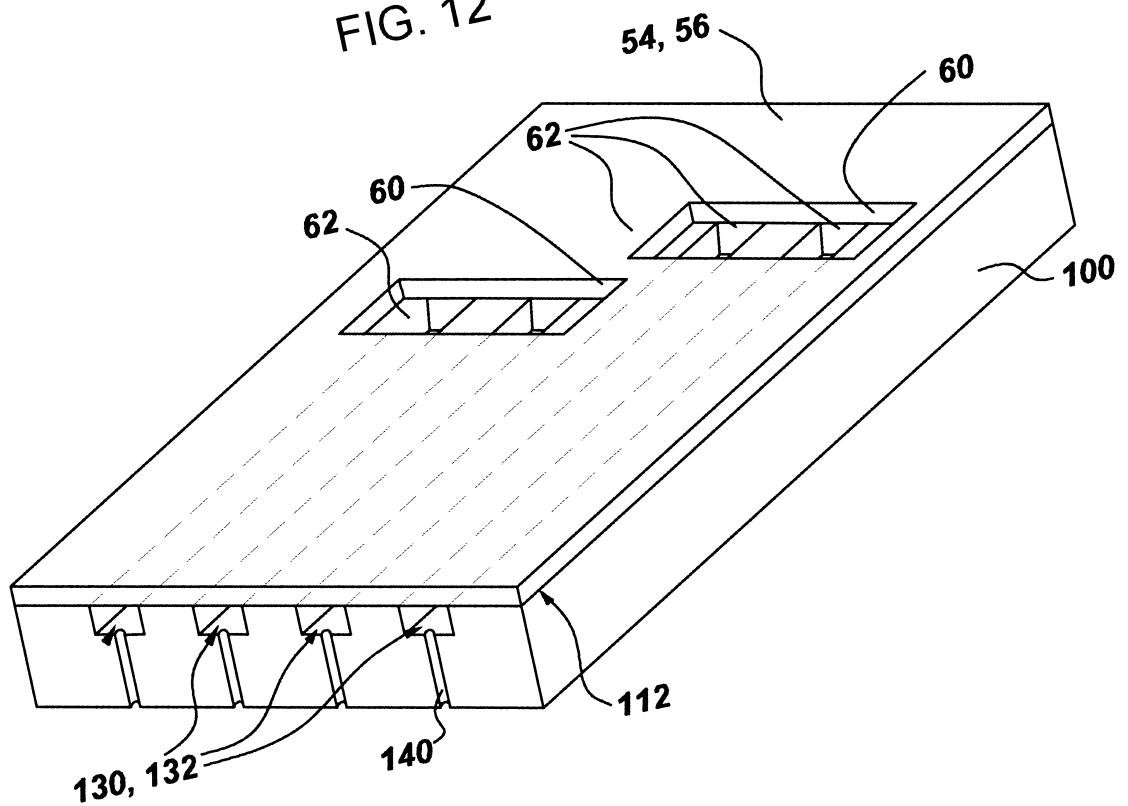


FIG. 12



7/9

FIG. 13

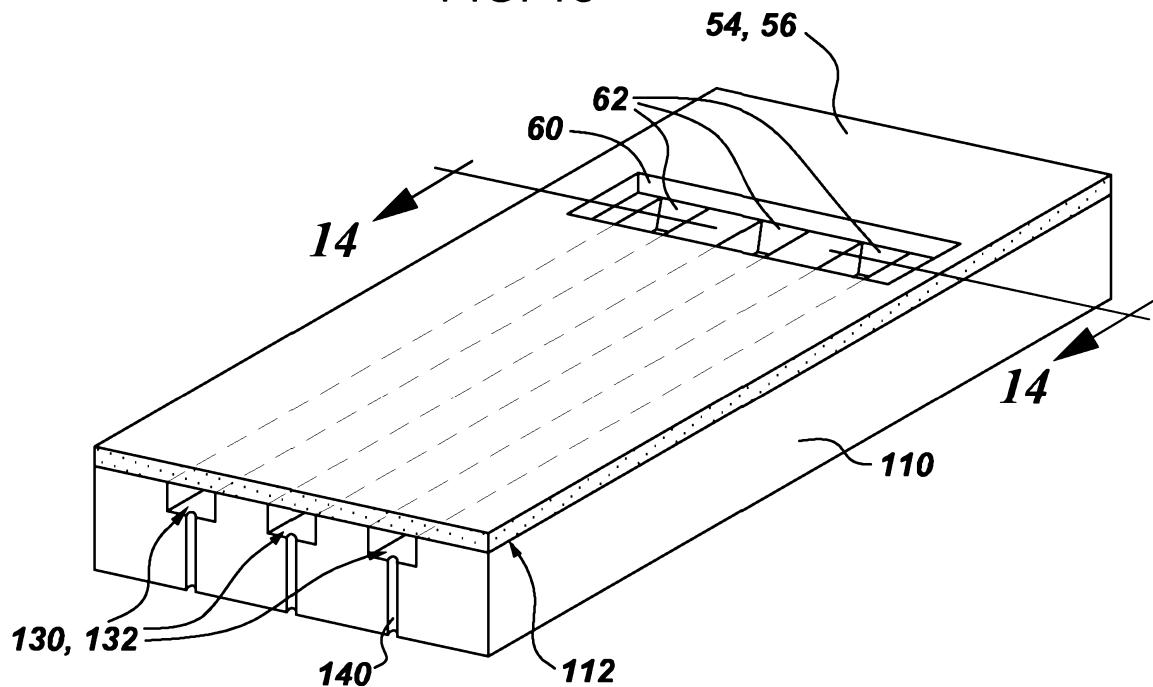


FIG. 14

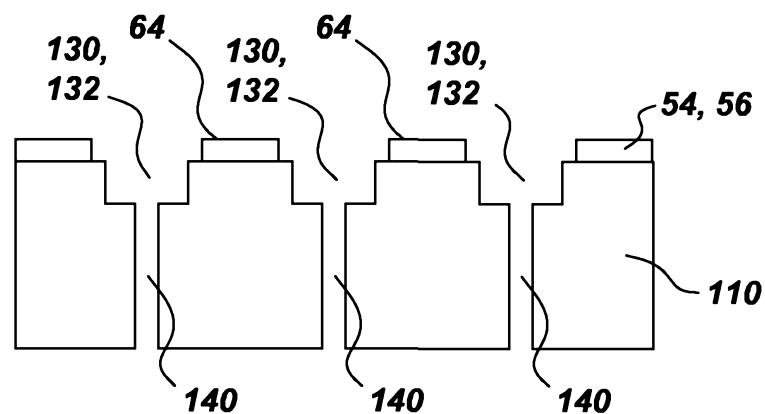
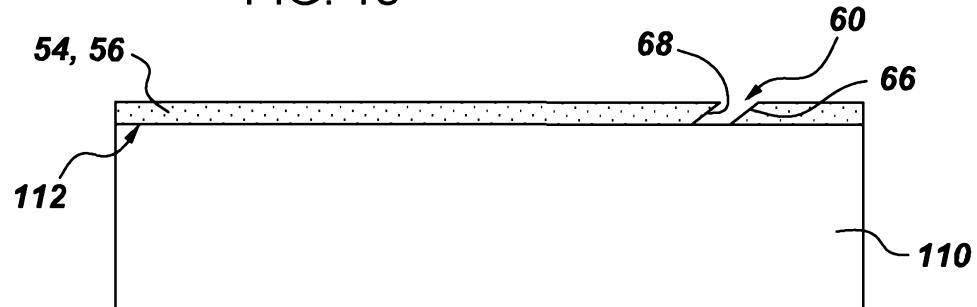


FIG. 15



8/9

FIG. 16

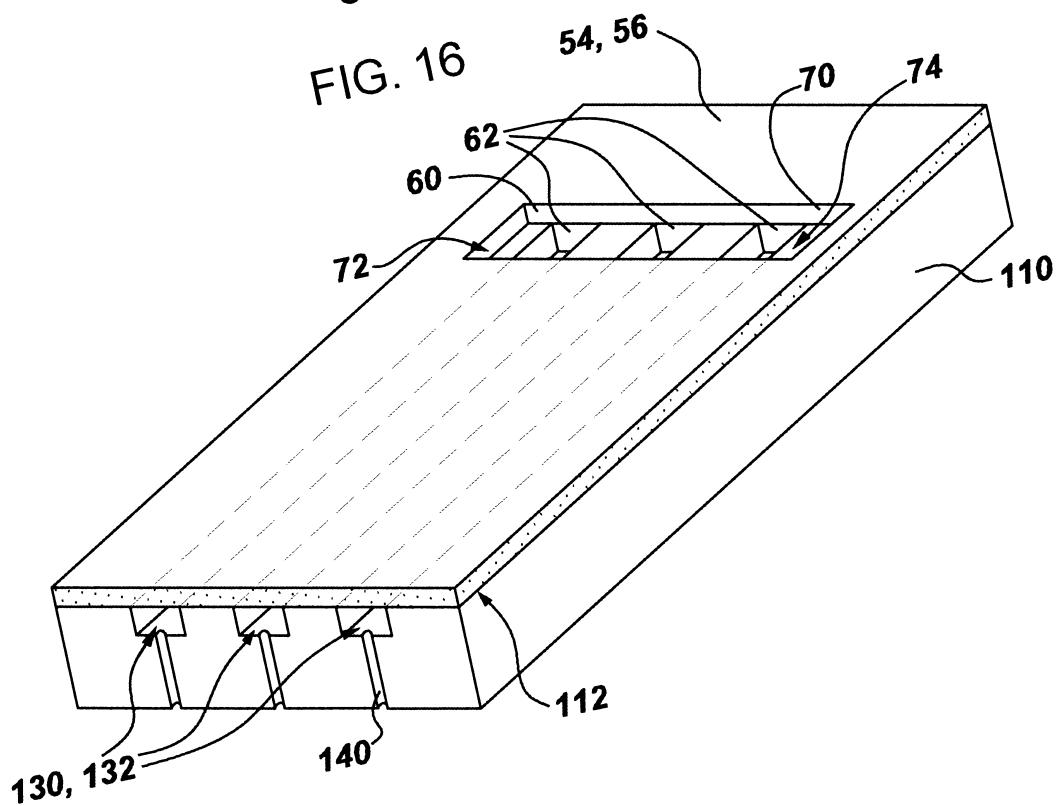
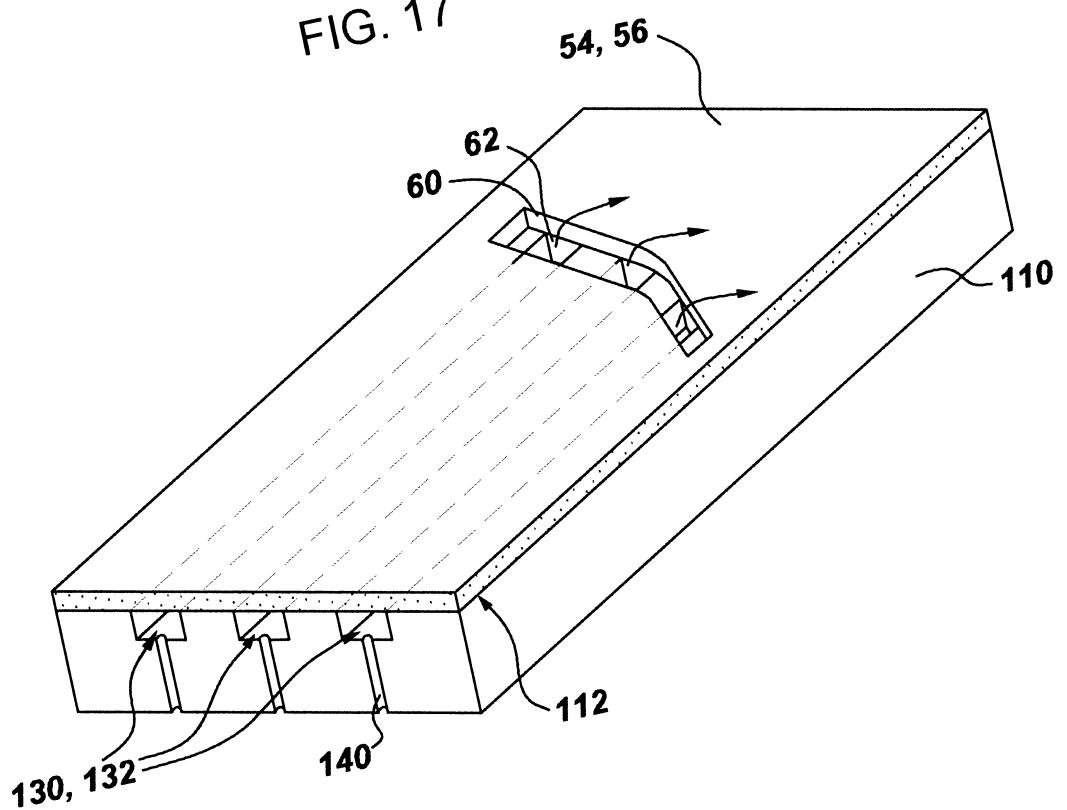


FIG. 17



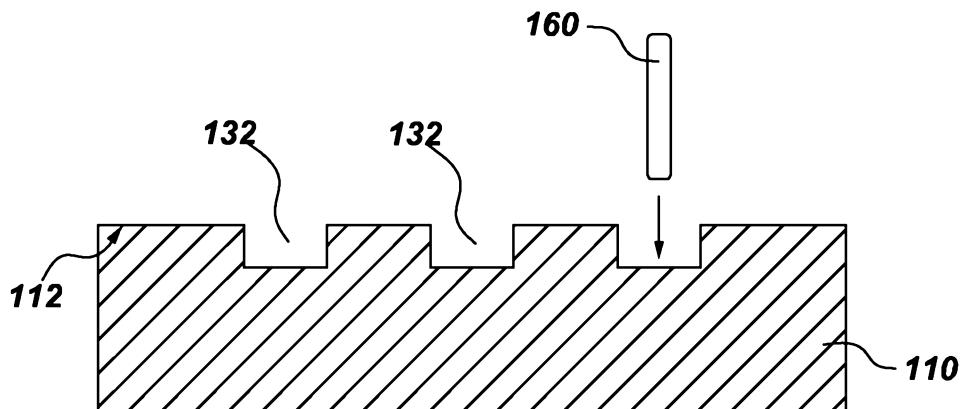
9/9
FIG. 18

FIG. 19

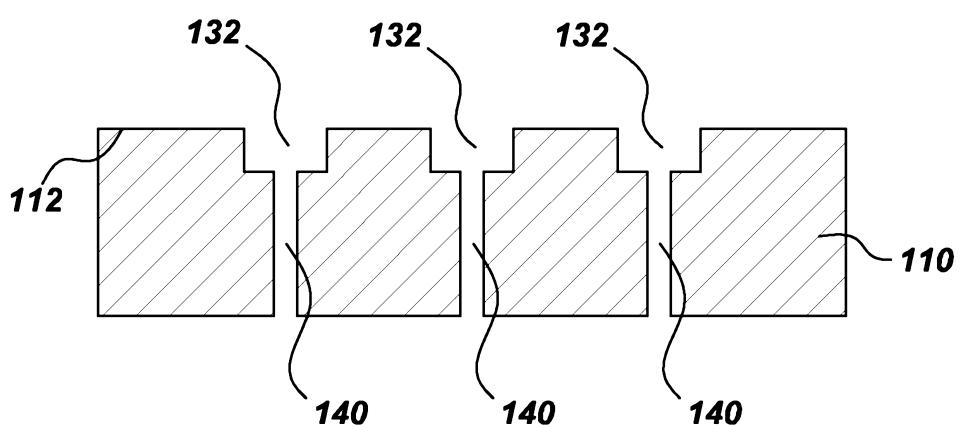
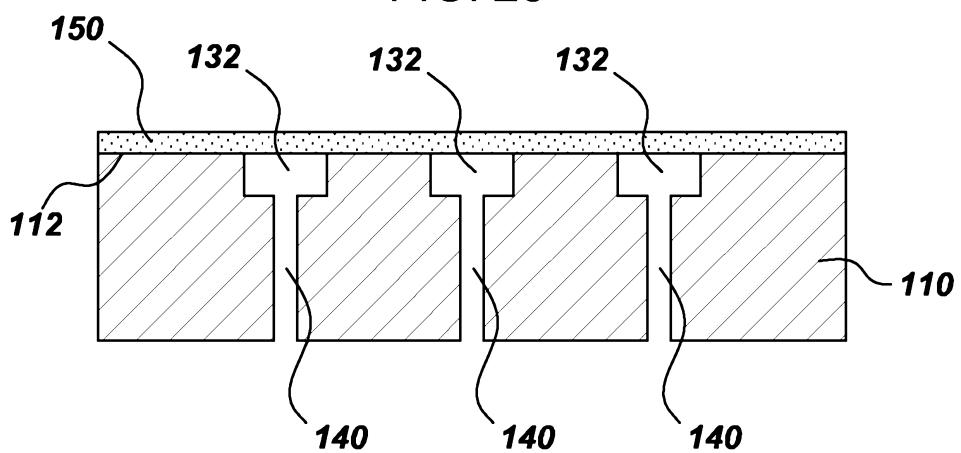


FIG. 20



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 7553534 B2 (BUNKER RONALD SCOTT [US])
30 juin 2009 (2009-06-30)

US 6617003 B1 (LEE CHING-PANG [US] ET AL.)
09 septembre 2003 (2003-09-09)

US 5820337 A (JACKSON MELVIN ROBERT [US] ET AL.)
13 octobre 1998 (1998-10-13)

US 5640767 A (JACKSON MELVIN ROBERT [US] ET AL.)
24 juin 1997 (1997-06-24)

US 5626462 A (JACKSON MELVIN R [US] ET AL.)
06 mai 1997 (1997-05-06)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT