

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11 N° de publication :

2 967 168

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national :

11 60220

51 Int Cl<sup>8</sup> : C 23 C 14/24 (2012.01), C 23 C 4/12, B 24 C 1/04,  
B 23 P 15/04, F 01 D 5/18

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 09.11.11.

30 Priorité : 10.11.10 US 12943624.

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 11.05.12 Bulletin 12/19.

56 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été  
établi à la date de publication de la demande.*

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

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

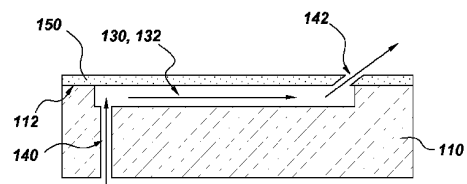
72 Inventeur(s) : BUNKER RONALD SCOTT, WEI BIN  
et HAMMOND MITCHELL NILE.

73 Titulaire(s) : GENERAL ELECTRIC COMPANY.

74 Mandataire(s) : BUREAU D.A. CASALONGA &  
JOSSE.

54 COMPOSANTS AVEC CANAUX DE REFROIDISSEMENT DE FORME RENTRANTE ET LEURS PROCÉDES DE  
FABRICATION.

57 Un procédé de fabrication d'un composant (100) est  
fourni. Le procédé comporte la formation d'une ou plusieurs  
gorges (132) dans une surface (112) d'un substrat (110), où  
le substrat comporte au moins un espace intérieur creux  
(114). Chaque gorge s'étend au moins partiellement le long  
de la surface (112) du substrat et possède une base (134)  
et une partie supérieure (136). La base est plus large que la  
partie supérieure, de sorte que chaque gorge comprend une  
gorge de forme rentrante (132). Le procédé comporte en  
outre la formation d'un ou plusieurs trous d'accès (140) à  
travers la base (134) d'une gorge respective, pour relier la  
gorge (132) en communication fluide avec des espaces res-  
pectifs parmi le ou les espaces intérieurs creux, et la dispo-  
sition d'un revêtement (150) au-dessus d'au moins une  
partie de la surface du substrat. La ou les gorges (132) et le  
revêtement (150) définissent un ou plusieurs canaux de  
forme rentrante (130) pour refroidir le composant. Un compo-  
sant (100) avec un ou plusieurs canaux de forme rentrante  
(130) et un procédé de dépôt d'un composant sont égale-  
ment fournis.



FR 2 967 168 - A1



B11-4887FR

1

**Composants avec canaux de refroidissement de forme rentrante  
et leurs procédés de fabrication**

5

La présente invention concerne de façon générale des moteurs à turbine à gaz et de façon plus spécifique le refroidissement de microcanaux dans ceux-ci.

10 Dans un moteur à turbine à gaz, de l'air est pressurisé dans un compresseur et mélangé avec un carburant dans une chambre de combustion pour générer des gaz de combustion chauds. De l'énergie est extraite des gaz dans une turbine à haute pression (HPT) qui alimente le compresseur et dans une turbine à basse pression (LPT) qui alimente une soufflerie dans une application de  
15 moteurs d'aéronef à réacteur à double flux, ou alimente un arbre extérieur pour les applications maritimes et industrielles.

Le rendement d'un moteur augmente avec la température des gaz de combustion. Toutefois, les gaz de combustion chauffent les divers composants le long de leur trajet d'écoulement, ce qui  
20 nécessite alors leur refroidissement pour obtenir une longue durée de vie du moteur. Les composants du trajet des gaz chauds sont généralement refroidis en purgeant l'air du compresseur. Ce processus de refroidissement diminue le rendement du moteur car l'air purgé n'est pas utilisé dans le processus de combustion.

25 La technique du refroidissement des moteurs à turbine à gaz a atteint sa maturité et fait l'objet d'un grand nombre de brevets pour divers aspects des circuits et éléments de refroidissement dans les divers composants du trajet des gaz chauds. La chambre de combustion comporte par exemple des doublages radialement

extérieurs et intérieurs qui nécessitent d'être refroidis pendant le fonctionnement. Les injecteurs des turbines comportent des aubes creuses supportées entre des bandes extérieures et intérieures, nécessitant également un refroidissement. Les lames d'un rotor de turbine sont creuses et comportent généralement des circuits de refroidissement à l'intérieur, les lames étant entourée par des carénages de turbine qui nécessitent également un refroidissement. Les gaz de combustion chauds sont évacués au moyen d'un échappement qui peut également être doublé et convenablement refroidi.

Dans tous ces exemples de composants de moteur de turbine à gaz, on utilise généralement des parois métalliques minces dans des métaux de superalliage à haute résistance pour améliorer la durabilité tout en minimisant la nécessité de les refroidir. Divers circuits et éléments de refroidissement sont adaptés à ces composants individuels dans leurs environnements correspondants dans le moteur. Par exemple, une série de passages de refroidissement intérieurs ou serpentins peuvent être formés dans un composant de trajet des gaz chauds. Un fluide de refroidissement peut être fourni aux serpentins depuis un plénum et le fluide de refroidissement peut s'écouler à travers les passages, refroidissant le substrat et les revêtements du composant de trajet des gaz chauds. Cette stratégie de refroidissement a toutefois généralement pour conséquence des taux de transfert de chaleur comparativement bas et des profils de température de composant non uniformes.

Le refroidissement des microcanaux présente le potentiel de diminuer significativement les exigences de refroidissement en plaçant le refroidissement aussi près que possible de la zone chaude, réduisant ainsi la différence de température entre le côté chaud et le côté froid pour un taux de transfert de chaleur donné.

Toutefois, les techniques actuelles pour former des microcanaux nécessitent généralement l'utilisation d'un produit de remplissage sacrificiel pour empêcher le revêtement d'être déposé dans les microcanaux, pour supporter le revêtement pendant le dépôt ainsi que la suppression du produit de remplissage sacrificiel après dépôt du système de revêtement. Toutefois, aussi bien le remplissage des canaux avec un matériau fugitif que la suppression ultérieure de ce matériau présente des problèmes potentiels pour les techniques actuelles de traitement des microcanaux. Le produit de remplissage doit par exemple être compatible avec le substrat et les revêtements, en présentant cependant un rétrécissement minimum et en ayant également une résistance suffisante. La suppression du produit de remplissage sacrificiel implique des processus potentiellement dommageables de lessivage, gravure ou vaporisation et nécessite généralement de longues durées. Le matériau du produit de remplissage résiduel est également un problème.

Il serait donc souhaitable de fournir un procédé de formation de canaux de refroidissement dans des composants de trajet de gaz chauds éliminant la nécessité des processus de remplissage et de suppression.

Un aspect de la présente invention concerne un procédé de fabrication d'un composant. Le procédé comporte la formation d'une ou plusieurs gorges dans une surface d'un substrat, où le substrat comporte au moins un espace intérieur creux. Chaque gorge parmi la ou les gorges s'étend au moins partiellement le long de la surface du substrat et possède une base et une partie supérieure. La base est plus large que la partie supérieure, de sorte que chaque gorge parmi la ou des gorges comprend une gorge de forme rentrante. Le procédé comporte en outre la formation d'un ou plusieurs trous d'accès à travers la base d'une gorge respective parmi la ou les gorges, pour

relier la gorge en communication fluide avec des espaces respectifs parmi le ou les espaces intérieurs creux. Le procédé comporte en outre la disposition d'un revêtement au-dessus d'au moins une partie de la surface du substrat, où la ou les gorges et le revêtement définissent un ou plusieurs canaux de forme rentrante pour refroidir le composant.

Un autre aspect de l'invention concerne un composant incluant un substrat comprenant 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. Chacune parmi la ou les gorges s'étend au moins partiellement le long de la surface du substrat et possède une base et une partie supérieure. La base est plus large que la partie supérieure de sorte que chaque gorge parmi la ou les gorges comprend une gorge de forme rentrante. Un (ou plusieurs trous) d'accès est (sont) formé(s) à travers la base d'une gorge respective, pour relier la gorge en communication fluide avec des espaces respectifs parmi le ou les espaces intérieurs creux. Le composant comporte en outre au moins un revêtement disposé au-dessus d'au moins une partie de la surface du substrat. La ou les gorges et le revêtement définissent un ou plusieurs canaux de forme rentrante pour refroidir le composant.

Encore un autre aspect de l'invention concerne un procédé de revêtement d'un composant sans utiliser de produit de remplissage sacrificiel. Le procédé comporte la formation d'une ou plusieurs gorges dans une surface d'un substrat, où le substrat possède au moins un espace intérieur creux. Chaque gorge parmi la ou les gorges s'étend au moins partiellement le long de la surface du substrat et possède une base et une partie supérieure, où la partie supérieure a une largeur d'environ 0,1 mm à 0,5 mm. Le procédé

comporte en outre le dépôt d'un revêtement au-dessus d'au moins une partie de la surface du substrat directement au-dessus des gorges ouvertes parmi la ou les gorges, où la ou les gorges et le revêtement définissent un ou plusieurs canaux pour refroidir le composant.

Ces caractéristiques, aspects et avantages de la présente invention seront mieux compris en lisant la description détaillée suivante en référence aux dessins annexés, dans lesquels des caractères analogues représentent des parties analogues dans l'ensemble des dessins, dans lesquels :

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

- la figure 2 est une section transversale schématique d'un exemple de configuration de profil avec des canaux de refroidissement rentrants selon des aspects de la présente invention ;

- la figure 3 illustre un premier passage d'un jet de liquide abrasif faisant un angle  $\phi$  pour former une gorge rentrante ;

- la figure 4 illustre un deuxième passage du jet de liquide abrasif faisant un angle opposé  $180-\phi$  pour former la gorge rentrante ;

- la figure 5 illustre un troisième passage facultatif du jet de liquide abrasif normal par rapport à la gorge pour former la gorge rentrante ;

- la figure 6 est une section transversale schématique d'une partie d'un circuit de refroidissement avec des canaux de refroidissement rentrants ;

- la figure 7 représente schématiquement en section transversale une gorge de forme rentrante avec un revêtement

s'étendant au-dessus de la partie supérieure de la gorge afin de former un canal de forme rentrante ;

5 - la figure 8 représente schématiquement vus en perspective trois exemples de microcanaux s'étendant partiellement le long de la surface du substrat et un agent de refroidissement de canal pour les trous de refroidissement pelliculaires respectifs ;

10 - la figure 9 est une vue en coupe transversale des exemples de microcanaux de la figure 8 et représente le microcanal acheminant un agent de refroidissement depuis un trou d'accès jusqu'à un trou de refroidissement pelliculaire ;

- la figure 10 illustre l'application d'une technique de revêtement inclinée avec les microcanaux rentrants selon la présente invention ; et

15 - la figure 11 illustre un revêtement avec des espaces poreux pour atténuer les contraintes.

Les termes « premier », « deuxième » et analogues ne représentent ici aucun ordre, quantité ou importance mais sont plutôt utilisés pour distinguer un élément d'un autre. Les termes « un » et « une » ne représentent pas ici une limitation de quantité  
20 mais représentent plutôt la présence d'au moins l'un des éléments référencés. Le modificateur « concernant » utilisé en relation avec une quantité est inclusif de la valeur indiquée et a la signification imposée par le contexte (par exemple, inclut le degré d'erreur associé à la mesure de la quantité particulière). De plus, le terme  
25 « combinaisons » est inclusif des mélanges, alliages, produits de réaction et analogue.

De plus, dans cette spécification, le suffixe « (s) » est habituellement destiné à inclure à la fois le singulier et le pluriel du terme qu'il modifie, incluant ainsi un ou plusieurs de ces termes  
30 (par exemple, « le trou de passage » peut inclure un ou plusieurs

trous de passage, sauf spécification contraire). Dans l'ensemble de cette spécification, une référence à « un mode de réalisation », « un autre mode de réalisation », et ainsi de suite, signifie qu'un élément particulier (par exemple, propriété, structure et/ou caractéristique) décrit en relation avec le mode de réalisation est inclus dans au moins un mode de réalisation ici décrit et peut ou non être présent dans d'autres modes de réalisation. On comprendra de plus que les propriétés inventées décrites peuvent être combinées d'une quelconque manière convenable dans les divers modes de réalisation.

La figure 1 est un dessin schématique d'un système de turbine à gaz 10. Le système 10 peut inclure un ou plusieurs compresseurs 12, des chambres de combustion 14, des turbines 16 et des injecteurs de carburant 20. Le compresseur 12 et la turbine 16 peuvent être couplés par un ou plusieurs arbres 18. L'arbre 18 peut être un arbre unique ou plusieurs segments d'arbre couplés ensemble afin de former un arbre 18.

Le système de turbine à gaz 10 peut inclure un certain nombre de composants de trajet de gaz chauds 100. Un composant de trajet de gaz chauds est un quelconque composant du système 10 qui est au moins partiellement exposé à un écoulement de gaz à haute température à travers le système 10. Par exemple, des ensembles d'aubes (appelés également lames ou ensemble de lames), des ensembles d'injecteurs (appelés également ailettes ou ensemble d'ailettes), des ensembles de carénages, des pièces de transition, des bagues de retenue et des composants d'échappement du compresseur sont tous des composants de trajet de gaz chauds. On comprendra toutefois que le composant de trajet de gaz chauds 100 de la présente invention n'est pas limité aux exemples ci-dessus mais peut être un quelconque composant au moins partiellement



exposé à un écoulement de gaz à haute température. On comprendra en outre que le composant de trajet de gaz chauds 100 de la présente description n'est pas limité à des composants de systèmes de turbine à gaz 10 mais peut être une quelconque pièce de machine ou d'un  
5 constituant de celle-ci pouvant être exposée à des écoulements à haute température.

Lorsqu'un composant de trajet de gaz chauds 100 est exposé à un trajet de gaz chauds 80, le composant de trajet de gaz chauds 100 est chauffé par l'écoulement des gaz chauds 80 et peut atteindre  
10 une température à laquelle le composant de trajet de gaz chauds 100 présente une défaillance. Ainsi, pour permettre au système 10 de fonctionner avec un trajet de gaz chauds 80 à une température élevée, ce qui augmente le rendement et les performances du système 10, un système de refroidissement pour le composant de  
15 trajet de gaz chauds 100 est nécessaire.

En général, le système de refroidissement de la présente description comporte une série de petits canaux ou microcanaux, formés dans la surface du composant de trajet de gaz chauds 100. Le composant de trajet de gaz chauds peut être muni d'un revêtement.  
20 Un fluide de refroidissement peut être prévu pour les canaux à partir d'un plénum et le fluide de refroidissement peut traverser les canaux, refroidissant le revêtement.

Un procédé de fabrication de composant 100 est décrit en référence aux figures 2 à 11. Comme indiqué par exemple sur les  
25 figures 3 à 6, le procédé comporte la formation d'une ou plusieurs gorges 132 dans une surface 112 d'un substrat 110. Pour les exemples illustrés, les gorges multiples 132 sont formées dans le substrat 110. Comme indiqué par exemple sur la figure 2, le substrat 110 possède au moins un espace intérieur creux 114. Comme  
30 indiqué, par exemple sur les figures 8 et 9, chacune des gorges 132

s'étend au moins partiellement le long de la surface 112 du substrat 110. Comme représenté par exemple sur la figure 6, chacune des gorges 132 possède une base 134 et une partie supérieure 136, la base 134 étant plus large que la partie supérieure 136, de sorte que  
5 chacune des gorges 132 comprend une gorge de forme rentrante 132. Pour les exemples présentés sur les figures 8 et 9, les gorges acheminent un fluide vers des trous pelliculaires de sortie 142. Toutefois, d'autres configurations ne nécessitent pas de trous pelliculaires, les microcanaux s'étendant simplement le long de la  
10 surface du substrat 112 et sortant d'un bord du composant, par exemple le bord d'attaque ou la pointe de l'aube ou un bord de paroi d'extrémité. On notera de plus que bien que les trous pelliculaires soient représentés sur la figure 8 comme étant arrondis, ceci est simplement un exemple non limitatif. Les trous pelliculaires  
15 peuvent également être des trous de forme non circulaire.

Comme indiqué par exemple sur la figure 6, le procédé comporte en outre la formation d'un ou plusieurs trous d'accès 140 à travers la base 134 d'une gorge respective parmi les gorges 132, pour assurer une communication fluide entre les gorges 132 et le ou  
20 les espaces intérieurs creux 114. Les trous d'accès 140 sont généralement de section transversale circulaire ou ovale et peuvent être formés par exemple en utilisant une ou plusieurs actions parmi un usinage au laser (perçage au laser), un jet de liquide abrasif, un usinage par décharges électriques (EDM) et un perçage par faisceau  
25 d'électrons. Les trous d'accès 140 peuvent être normaux par rapport à la base 134 des gorges respectives 132 (comme représenté sur la figure 6) ou plus généralement, peuvent être percés en faisant des angles situés dans la plage de 20 à 90° par rapport à la base 134 de la gorge. Comme indiqué par exemple sur la figure 6, le procédé  
30 comporte en outre la disposition d'un revêtement 150 au moins sur

une partie de la surface 112 du substrat 110. Plus particulièrement, le revêtement 150 est déposé au-dessus d'au moins une partie de la surface 112 du substrat 110, directement au-dessus des gorges ouvertes parmi les gorges 132. Tel qu'il est ici utilisé, le terme « ouvertes » signifie que les gorges 132 sont vides, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas remplies de produit de remplissage sacrificiel. Comme représenté sur la figure 6, par exemple, les gorges 132 et le revêtement 150 définissent un certain nombre de canaux de forme rentrante 130 pour refroidir le composant 100. Comme indiqué sur les figures 8 et 9, par exemple, le substrat 110 et le revêtement 150 peuvent définir en outre une pluralité de trous pelliculaires de sortie 142. Pour l'exemple de configuration représenté sur la figure 9, le microcanal 130 achemine un agent de refroidissement depuis un trou d'accès 140 jusqu'à un trou de refroidissement pelliculaire 142. Des exemples de revêtement 150 sont fournis dans le brevet U.S. n° 5 640 767 et dans le brevet U.S. n° 5 626 462. Comme expliqué dans le brevet U.S. n° 5 626 462, les revêtements 150 sont liés à des parties de la surface 112 du substrat 110.

Le substrat 110 est généralement coulé avant formation des gorges 132 dans la surface 112 du substrat 110. Comme expliqué dans le brevet U.S. n° 5 626 462 attribué en commun, le substrat 110 peut être formé d'un matériau convenable quelconque, appelé ici premier matériau. En fonction de l'application prévue pour le composant 100, celui-ci peut inclure des superalliages au Ni, Co et Fe. Les superalliages au Ni peuvent être ceux qui contiennent à la fois des phases  $\gamma$  et  $\gamma'$ , en particulier les superalliages au Ni contenant à la fois des phases  $\gamma$  et  $\gamma'$  dans lesquels la phase  $\gamma'$  occupe au moins 40 % du volume du superalliage. On sait que ces alliages sont avantageux en raison d'une combinaison de propriétés souhaitables incluant la résistance à haute température et la

résistance au fluage à haute température. Le premier matériau peut également comprendre un alliage intermétallique NiAl, car on sait que ces alliages possèdent une combinaison de propriétés supérieures incluant la résistance à haute température et la

5 résistance au fluage à haute température qui sont avantageuses pour être utilisées dans des applications de moteurs à turbine utilisés pour des avions. Dans le cas des alliages au Nb, des alliages au Nb revêtus ayant une résistance supérieure à l'oxydation sont préférés, par exemple les alliages Nb/Ti et en particulier les alliages

10 comprenant Nb-(27-40)Ti-(4,5-10,5)Al-(4,5-7,9)Cr-(1,5-5,5)Hf-(0-6)V en pourcentage atomique. Un premier matériau peut également comprendre un alliage au Nb contenant au moins une phase secondaire, par exemple un composé intermétallique contenant du Nb, un carbure contenant du Nb ou un borure contenant du Nb. Ces

15 alliages sont analogues à un matériau composite en ce qu'ils contiennent une phase ductile (à savoir, l'alliage au Nb) et une phase de renforcement (c'est-à-dire un composé intermétallique contenant du Nb, un carbure contenant du Nb ou un borure contenant du Nb).

20 Pour l'exemple d'agencement illustré sur les figures 2, 8 et 9, le revêtement 150 s'étend longitudinalement le long de la surface extérieure en forme de profil 112 du substrat 110. Le revêtement 150 se conforme à la surface extérieure en forme de profil 112 et recouvre les gorges 132 formant des canaux 130. On notera que

25 comme décrit, le revêtement 150 n'est que le premier revêtement ou revêtement structurel qui recouvre les canaux. Pour certaines applications, un simple revêtement peut constituer la totalité de ce qui est utilisé. Toutefois, pour d'autres applications, une couche d'accrochage et un revêtement de barrière thermique (TBC) sont

30 également utilisés. Pour les exemples d'agencement illustrés sur les

figures 8 et 9, les canaux 130 canalisent l'écoulement de refroidissement allant du trou d'accès respectif 140 au trou pelliculaire de sortie 142. La longueur de canal est généralement située dans la plage de 10 à 1000 fois le diamètre du trou pelliculaire et plus particulièrement, dans la plage de 20 à 100 fois le diamètre du trou pelliculaire. De façon avantageuse, les canaux 130 peuvent être utilisés n'importe où sur les surfaces des composants (corps du profil, bords d'attaque, bords de fuite, extrémité des lames, parois d'extrémité, plates-formes). De plus, bien que les canaux soient représentés avec des parois rectilignes, les canaux 130 peuvent avoir une configuration quelconque, ils peuvent être par exemple rectilignes, incurvés ou posséder de multiples courbes, etc. Le revêtement 150 comprend un deuxième matériau qui peut être un matériau convenable quelconque et il est lié à la surface extérieure en forme de profil 120 du substrat 110. Pour des configurations particulières, le revêtement 150 a une épaisseur située dans la plage de 0,1 à 2,0 millimètres et plus particulièrement dans la plage de 0,1 à 1 millimètres et encore plus particulièrement de 0,1 à 0,5 millimètres pour les composants industriels. Pour les composants destinés à l'aviation, cette plage est généralement de 0,1 à 0,25 millimètres. Toutefois, d'autres épaisseurs peuvent être utilisées en fonction des exigences pour un composant particulier.

Le revêtement 150 peut être déposé en utilisant une diversité de techniques. Pour des processus particuliers, le revêtement 150 est déposé au-dessus d'au moins une partie de la surface 112 du substrat 110 en effectuant un dépôt par plasma ionique. Des exemples d'appareils et d'un procédé de dépôt par plasma ionique à arc cathodique sont fournis dans la demande publiée de brevet U.S. n° 20080138529 assignée en commun, de Weaver et al. « Method

and apparatus for cathodic arc ion plasma deposition ». En bref, le dépôt par plasma ionique comprend le placement d'une cathode formée d'un matériau de revêtement dans un environnement sous vide dans une chambre sous vide, la fourniture d'un substrat 110 dans l'environnement sous vide, la fourniture d'un courant à la cathode pour former un arc cathodique sur une surface de cathode produisant une érosion ou une évaporation du matériau de revêtement de la surface de la cathode et le dépôt du matériau de revêtement de la cathode sur la surface du substrat 112.

10 Dans un exemple non limitatif, le processus de dépôt par plasma ionique comprend un processus de dépôt en phase vapeur de plasma. Des exemples non limitatifs du revêtement 150 comportent des revêtements métalliques, des couches d'accrochage et des revêtements de barrière thermique, comme expliqué plus en détail 15 ci-dessous en référence au brevet U.S. n° 5 626 462. Pour certains composants de trajet des gaz chauds 100, le revêtement 150 comprend un superalliage. Par exemple, lorsque le premier matériau du substrat 110 est un superalliage au Ni contenant à la fois des phases  $\gamma$  et  $\gamma'$ , le revêtement 150 peut comprendre ces mêmes 20 matériaux, comme expliqué plus en détail ci-dessous en référence au brevet U.S. n° 5 626 462.

Pour les autres configurations de processus, le revêtement 150 est disposé au-dessus d'au moins une partie de la surface 112 du substrat 110 en exécutant un processus de projection thermique. Le 25 processus de projection thermique peut comprendre par exemple une projection de carburant et d'oxygène à grande vitesse (HVOF) ou une projection de carburant et d'air à grande vitesse (HVAF). Dans un exemple non limitatif, un revêtement de NiCrAlY est déposé par HVOF ou HVAF. Pour d'autres exemples de configuration de

processus, une projection par plasma à basse pression (LPPS) peut être utilisée.

Plus généralement, et comme expliqué dans le brevet U.S. n° 5 626 462, le deuxième matériau utilisé pour former le revêtement 150 comprend un matériau convenable quelconque. Dans le cas d'un composant de turbine refroidi 100, le deuxième matériau doit être capable de supporter des températures allant jusqu'à environ 1150°C, tandis que le TBC peut atteindre environ 1320°C. Le revêtement 150 doit être compatible et adapté à être lié à la surface extérieure en forme de profil 112 du substrat 110. Cette liaison peut être formée lorsque le revêtement 150 est déposé sur le substrat 110. Cette liaison peut être influencée pendant le dépôt par un grand nombre de paramètres, incluant le procédé de dépôt, la température du substrat 110 pendant le dépôt, le fait que la surface du dépôt soit décalée par rapport à la source du dépôt ainsi que d'autres paramètres. La liaison peut également être affectée par un traitement thermique ultérieur ou un autre traitement. De plus, la morphologie de surface, la chimie et la propreté du substrat 110 avant le dépôt peuvent influencer le degré auquel se produit la liaison métallurgique. Outre la formation d'une liaison métallurgique forte entre le revêtement 150 et le substrat 110, il est souhaitable que cette liaison reste stable dans le temps et à des températures élevées par rapport au changement de phase et à l'interdiffusion, comme ici décrit. Compatible signifie que l'on préfère que la liaison entre ces éléments soit thermodynamiquement stable de façon que la résistance et la ductilité de la liaison ne se dégradent pas de manière significative dans le temps (par exemple, jusqu'à 3 ans) par interdiffusion ou par d'autres processus, même pour des expositions à des températures élevées de l'ordre de 1150°C pour des parois de support du profil en alliage au Ni 42 ou à

des températures supérieures de l'ordre de 1300°C dans le cas où des matériaux à plus haute température sont utilisés, par exemple des alliages au Nb.

Comme expliqué dans le brevet U.S. n° 5 626 462, lorsque le premier matériau du substrat 110 est un superalliage au Ni contenant à la fois des phases  $\gamma$  et  $\gamma'$ , ou un alliage intermétallique NiAl, les deuxièmes matériaux pour le revêtement 150 peuvent comprendre ces mêmes matériaux. Une telle combinaison des matériaux du revêtement 150 et du substrat 110 est préférée pour des applications telles que lorsque les températures maximales de l'environnement de fonctionnement sont similaires à celles des moteurs existants (par exemple, au-dessous de 1650°C). Dans le cas où le premier matériau du substrat 110 est constitué d'alliages au Nb, les deuxièmes matériaux pour le revêtement 150 peuvent également comprendre un alliage au Nb, incluant le même alliage au Nb.

Comme expliqué dans le brevet U.S. n° 5 626 462, pour d'autres applications telles que des applications imposant des contraintes de température, d'environnement ou autres, rendant indésirable l'utilisation d'un revêtement en alliage métallique 150, on préfère que le revêtement 150 comprenne des matériaux ayant des propriétés supérieures à celles des alliages métalliques seuls, par exemple des composites sous la forme générale d'un composé intermétallique ( $I_S$ )/composite de phase d'alliage métallique (M) et composé intermétallique ( $I_S$ )/composite de phase d'alliage métallique ( $I_M$ ). L'alliage métallique M peut être le même alliage que celui qui est utilisé pour la paroi du support du profil 40 ou un matériau différent, selon les exigences du profil. Énoncé de façon générale, ces composites sont similaires en ce qu'ils combinent une phase relativement plus ductile M ou  $I_M$  avec une phase



relativement moins ductile  $I_S$  afin de créer un revêtement 150  
permettant d'obtenir l'avantage des deux matériaux. En outre, pour  
réussir le composite, les deux matériaux doivent être compatibles.  
Tel qu'il est ici utilisé en ce qui concerne les composites, le terme  
5 compatible signifie que les matériaux doivent être capables de  
former la distribution initiale désirée de leur phase et de maintenir  
cette distribution pendant des périodes de temps prolongées, comme  
décrit ci-dessus aux températures d'utilisation de  $1150^\circ\text{C}$  ou plus,  
sans faire l'objet de réactions métallurgiques affectant sensiblement  
10 la résistance, la ductilité, la ténacité et d'autres propriétés  
importantes du composite. Cette compatibilité peut également  
s'exprimer en termes de stabilité de phase. C'est-à-dire que les  
phases séparées du composite doivent avoir une certaine stabilité  
pendant le fonctionnement à des températures pendant des périodes  
15 de temps prolongées, de sorte que ces phases restent séparées et  
distinctes, conservant leurs identités et propriétés séparées et ne  
deviennent pas une phase unique ou une pluralité de phases  
différentes en raison de l'interdiffusion. La compatibilité peut  
également s'exprimer en termes de stabilité morphologique de  
20 l'interface à la limite entre phases entre les couches composites  
 $I_S/M$  ou  $I_S/I_M$ . Cette instabilité peut se manifester par des  
convolutions qui interrompent la continuité de l'une ou l'autre  
couche. On notera également que dans un revêtement donné 150,  
une pluralité de composites  $I_S/M$  ou  $I_S/I_M$  peuvent également être  
25 utilisés et ces composites ne sont pas limités à deux matériaux ou à  
deux combinaisons de phase. L'utilisation de ces combinaisons est  
simplement explicative et n'est pas exhaustive ou ne limite pas les  
combinaisons potentielles. Ainsi,  $M/I_M /I_S$ ,  $M/I_{S1} /I_{S2}$  (où  $I_{S1}$  et  $I_{S2}$   
sont des matériaux différents) et un grand nombre d'autres  
30 combinaisons sont possibles.

Comme expliqué dans le brevet U.S. n° 5 626 462, lorsque le substrat 110 comprend un superalliage au Ni comprenant un mélange des phases  $\gamma$  et  $\gamma'$ ,  $I_S$  peut comprendre des composés intermétalliques  $Ni_3$  [Ti, Ta, Nb, V], NiAl,  $Cr_3Si$ ,  $[CrMo]_x Si$ , [Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V] C,  $Cr_3 C_2$  et  $Cr_7 C_3$  et des phases intermédiaires et M peut comprendre un superalliage au Ni comprenant un mélange des phases  $\gamma$  et  $\gamma'$ . Dans les superalliages au Ni comprenant un mélange des phases  $\gamma$  et  $\gamma'$ , les éléments Co, Cr, Al, C et B sont pratiquement toujours présents en tant que constituants de l'alliage ainsi que diverses combinaisons de Ti, Ta, Nb, V, W, Mo, Re, Hf et Zr. Ainsi, les constituants des exemples de matériaux  $I_S$  décrits correspondent à un ou plusieurs matériaux que l'on trouve généralement dans les superalliages au Ni tel que pouvant être utilisé en tant que premier matériau (pour former le substrat 110) et peuvent ainsi être adaptés pour obtenir la stabilité de phase et interdiffusion ici décrite. Comme exemple supplémentaire dans le cas où le premier matériau (le substrat 110) comprend un alliage intermétallique au NiAl,  $I_S$  peut comprendre des composés intermétalliques  $Ni_3$  [Ti, Ta, Nb, V], NiAl,  $Cr_3$ , Si,  $[Cr, Mo]_x Si$ , [Ta, Ti, Nb, Hf, Zr V] C,  $Cr_3 C_2$  et  $Cr_7 C_3$  et des phases intermédiaires et  $I_M$  peut comprendre un alliage intermétallique de  $Ni_3 Al$ . De nouveau, dans les alliages intermétalliques de NiAl, un ou plusieurs des éléments Co, Cr, C et B sont presque toujours présents en tant que constituants de l'alliage ainsi que diverses combinaisons de Ti, Ta, Nb, V, W, Mo, Re, Hf et Zr. Ainsi, les constituants de l'exemple de matériau  $I_S$  décrit correspondent à un ou plusieurs matériaux que l'on trouve généralement dans les alliages au NiAl comme pouvant être utilisés en tant que premier matériau et ainsi, peuvent être adaptés pour obtenir la stabilité de phase et interdiffusion ici décrite.

Comme expliqué dans le brevet U.S. n° 5 626 462, où le substrat 110 comprend un alliage au Nb, incluant un alliage au Nb contenant au moins une phase secondaire, I<sub>S</sub> peut comprendre un composé intermétallique contenant du Nb, un carbure contenant du Nb ou un borure contenant du Nb et M peut comprendre un alliage au Nb. On préfère qu'un tel composite I<sub>S</sub>/M comprenne une phase M d'un alliage au Nb contenant du Ti tel que le rapport atomique entre Ti et Nb (Ti/Nb) de l'alliage se trouve dans la plage de 0,2 à 1 et une phase I<sub>S</sub> comprenant un groupe consistant en des siliciures au Nb, Cr<sub>2</sub> [Nb, Ti, Hf] et aluminures au Nb et dans lequel Nb, parmi Nb, Ti et Hf est le principal constituant de Cr<sub>2</sub> [Nb, Ti, Hf] Nb du point de vue atomique. Ces composés possèdent tous Nb comme constituant commun et peuvent ainsi être adaptés pour obtenir la stabilité de phase et interdiffusion décrite dans le brevet U.S. n° 5 626 462.

Le revêtement tel qu'il est appliqué possède une dimension, une solidité et une adhérence (liaison) suffisantes des particules pour ponter les espaces d'ouverture 136 des gorges rentrantes 132 avec des quantités minimales de matériau de revêtement déposées à l'intérieur de la gorge. Toutefois, certains matériaux de revêtement remplissent généralement également l'ouverture légèrement au-dessous de la surface extérieure, comme indiqué sur la figure 7, par exemple. Cet effet de pontage a été documenté précédemment avec les revêtements par dépôt en phase vapeur de plasma (PVD) TBC déposés sur des gorges ouvertes de petite taille. De façon avantageuse, l'utilisation de la présente technique de microcanaux rentrants avec des revêtements par projection thermique a pour conséquence des agglomérations de particules beaucoup plus grandes avec la possibilité de ponter des espaces 136 plus grands.

En plus du système de revêtement 150, la surface intérieure de la gorge 132 (ou du microcanal 130, si la première couche (intérieure) du revêtement 150 n'est pas particulièrement résistante à l'oxydation) peut être encore modifiée pour améliorer sa  
5 résistance à l'oxydation et/ou à la corrosion à chaud. Des techniques appropriées pour appliquer un revêtement résistant à l'oxydation (non expressément présentées) sur la surface intérieure des gorges 132 (ou des microcanaux 130) comportent une chromisation en phase vapeur ou de bouillie, une aluminisation en phase vapeur ou  
10 de bouillie ou un revêtement de recouvrement par évaporation, pulvérisation, dépôt par plasma ionique, projection thermique et/ou projection à froid. Des exemples de revêtements superposés résistants à l'oxydation comportent des matériaux appartenant à la famille  $M\text{CrAlY}$  ( $M=\{\text{Ni,Co,Fe}\}$ ) ainsi que des matériaux choisis  
15 dans la famille  $\text{NiAlX}$  ( $X=\{\text{Cr,Hf,Zr,Y,La,Si,Pt,Pd}\}$ ).

En se référant aux figures 3 à 5, les gorges de forme rentrante 132 peuvent être formées en utilisant une diversité de techniques. Par exemple, les gorges de forme rentrante 132 peuvent être formées en utilisant une ou plusieurs techniques parmi un jet de  
20 liquide abrasif, un usinage électrochimique en plongée (ECM), un usinage par décharge électrique (EDM) avec une électrode tournante à point unique (EDM de « fraisage ») et un usinage au laser (perçage au laser). Des exemples de techniques d'usinage au laser sont décrits dans la demande de brevet U.S. de numéro de  
25 série 12/697,005 attribuée en commun, « Process and system for forming shaped air holes » déposée le 29 janvier 2010. Des exemples de techniques d'EDM sont décrits dans la demande de brevet U.S. de numéro de série 12/790,675 attribuée en commun  
30 « Articles which include chevron film cooling holes and related processes », déposée le 28 mai 2010.

Pour des configurations de processus particulières, les gorges de forme rentrante 132 sont formées en dirigeant un jet de liquide abrasif 160 sur la surface 112 du substrat 110, comme représenté schématiquement sur les figures 3 à 5. D'autres configurations de trajets d'outils pour le jet 160 peuvent également être utilisées. Par exemple, le jet 160 peut balayer un rayon (figure 5) et être déplacé dans la direction de la longueur du canal en suivant un trajet d'outils en zigzag. De cette manière, une ouverture de gorge relativement étroite 136 (sommet de la gorge) peut être formée. Pour faire balayer le jet 160, une fonction de trajet d'outil à plusieurs axes commandé numériquement (NC) peut être utilisée pour contrôler le point de pivot pour le jet 160 pour assurer une ouverture étroite 136. La profondeur du canal est déterminée par la vitesse de balayage ainsi que la vitesse de parcours du jet le long du canal lorsque la pression du jet est déterminée. Des exemples de processus et de systèmes de perçage par jet d'eau sont donnés dans la demande de brevet U.S. de numéro de série 12/790,675. Comme expliqué dans la demande de brevet U.S. de numéro de série 12/790,675, le processus à jet d'eau utilise généralement un courant à grande vitesse de particules abrasives (par exemple « grain » abrasif), en suspension dans un courant d'eau à haute pression. La pression de l'eau peut varier considérablement mais elle est souvent située dans la plage d'environ 5000 à 90 000 psi. Un certain nombre de matériaux abrasifs peuvent être utilisés, par exemple un grenat, de l'oxyde d'aluminium, du carbure de silicium et des perles de verres. De façon avantageuse, le processus à jet d'eau n'implique pas un chauffage du substrat 110 à un degré significatif quelconque. Il n'y a donc pas de « zone affectée par la chaleur » formée sur la surface du substrat 112 pouvant dans le cas

contraire influencer défavorablement sur la géométrie de sortie désirée pour les gorges de forme rentrante 132.

De plus, et comme expliqué dans la demande de brevet U.S. de numéro de série 12/790,675, le système à jet d'eau peut inclure  
5 une unité à plusieurs axes commandée numériquement par ordinateur (CNC). Les systèmes de CNC sont eux-mêmes connus dans la technique, comme décrit, par exemple, dans la publication du brevet U.S. 2005/0013926 (S. Rutkowski et al.). Les systèmes de CNC permettent un mouvement de l'outil de coupe le long d'un  
10 certain nombre d'axes X, Y et Z, ainsi que des axes de rotation.

Comme indiqué par exemple sur les figures 3 et 4, pour des configurations de processus particulières, les gorges de forme rentrante 132 sont formées en dirigeant le jet de liquide abrasif 160 avec un angle latéral par rapport à la surface 112 du substrat 110  
15 lors d'un premier passage du jet de liquide abrasif 160, puis en effectuant un passage ultérieur avec un angle sensiblement opposé à celui de l'angle latéral. La figure 3 illustre un exemple de découpe effectuée avec un jet d'eau abrasif avec un exemple d'angle latéral  $\phi$  par rapport à la normale à la surface 112 du substrat 110. Pour des  
20 configurations particulières, une paroi 138 (voir par exemple la figure 7) d'une gorge respective parmi les gorges de forme rentrante 132 est orientée d'un angle  $\phi$  situé dans la plage d'environ 10 à 89 degrés par rapport à la normale 50 à la surface et plus particulièrement, un angle  $\phi$  situé dans la plage d'environ 20 à 70  
25 degrés par rapport à la normale 52 à la surface et encore plus particulièrement, d'un angle  $\phi$  situé dans la plage d'environ 20 à 45 degrés par rapport à la normale 52 à la surface. Bien que la paroi 138 soit représentée comme étant une paroi rectiligne sur la figure 7, la paroi 138 peut également être incurvée. Dans le cas d'une paroi  
30 incurvée 138, l'angle  $\phi$  doit être compris comme l'angle moyen pour

la paroi incurvée. De façon similaire, la figure 4 illustre un exemple de découpe effectuée avec un jet d'eau abrasif selon un angle sensiblement opposé à celui (à savoir,  $90^\circ - \phi \pm 10^\circ$ , où l'angle latéral  $\phi$  est défini par rapport à la normale 52 à la surface, comme représenté sur la figure 3 et où l'angle opposé est défini par rapport à la surface 112, comme indiqué à la figure 4) de l'angle latéral représenté sur la figure 3. De plus, et comme représenté sur la figure 5, l'étape de formation des gorges de forme rentrante 132 peut comprendre en outre la réalisation d'un passage supplémentaire où le jet de liquide abrasif 160 est dirigé vers la base 134 de la gorge 132 en faisant un ou plusieurs angles entre l'angle latéral et un angle sensiblement opposé, de façon à supprimer le matériau de la base 134 de la gorge 132.

Pour faciliter le dépôt du revêtement 150 sur la gorge 132 sans que le revêtement ne remplisse la gorge 132, il est souhaitable que la base 134 de la gorge 132 soit considérablement plus grande que la partie supérieure 136 de la gorge. Ceci permet également de former un microcanal suffisamment grand 130 permettant de satisfaire aux exigences de refroidissement du composant 100. Pour des configurations particulières, la base 134 d'une gorge respective parmi les gorges de forme rentrante 132 est au moins 2 fois plus large que la partie supérieure 136 de la gorge respective 132. Si par exemple la base 134 de la gorge 132 est de 0,75 millimètres, la largeur de la partie supérieure 136 est inférieure à 0,375 millimètres pour cette configuration. Pour des configurations plus particulières, la base 134 de la gorge de forme rentrante respective 132 est au moins 3 fois plus large que la partie supérieure 136 de la gorge respective 132 et encore plus particulièrement, la base 134 de la gorge de forme rentrante respective 132 se situe dans une plage environ 3 à 4 fois plus large que la partie supérieure 136 de la gorge

respective 132. De façon avantageuse, un rapport base sur partie supérieure important augmente le volume de refroidissement global pour le microcanal 130 tout en facilitant le dépôt du revêtement 150 au-dessus de la gorge 132 sans que le revêtement 150 ne soit remplisse la gorge 132.

De façon avantageuse, en formant des gorges rentrantes 132, il n'est pas nécessaire d'utiliser un produit de remplissage sacrificiel (non représenté) pour appliquer le revêtement 150 sur les substrats 110. Ceci élimine la nécessité d'un processus de remplissage et du processus de suppression plus difficile. En formant des gorges de forme rentrante avec des ouvertures étroites 136 (parties supérieures), par exemple avec des ouvertures 136 dans la plage d'environ 10 à 12 mils de largeur, les ouvertures 136 peuvent être pontées par le revêtement 150 sans utiliser de produit de remplissage sacrificiel, éliminant ainsi deux des principales étapes de traitement (remplissage et lessivage) pour les techniques classiques de formation de canal. Dans l'exemple de configuration illustré sur la figure 7, le revêtement 150 ponte complètement les gorges respectives 132, de sorte que le revêtement 150 ferme hermétiquement les microcanaux respectifs 130. La figure 11 illustre un autre agencement où le revêtement 150 définit un ou plusieurs espaces poreux 144 (par exemple, une porosité dans le revêtement 150 ou un espace dans le revêtement), tels que le revêtement 150 ne ponte pas complètement chacune des gorges respectives 132. Bien que la figure 11 représente schématiquement l'espace 144 ayant une géométrie uniforme et rectiligne, l'espace 144 a généralement une forme irrégulière, avec laquelle la largeur de l'espace 144 varie, car le revêtement 150 est appliqué et crée une épaisseur. De façon idéale, lorsque la première partie du revêtement 150 est appliquée sur le substrat 110, la largeur de l'espace 144 peut



atteindre jusqu'à 50 % de la largeur de la partie supérieure 136 du microcanal 130. L'espace 144 peut ensuite rétrécir jusqu'à 5 % ou moins de la largeur de la partie supérieure 136, à mesure que le revêtement 150 se crée. Pour des exemples particuliers, la largeur

5 de l'espace 144, en son point le plus étroit est égale à 5 % à 20 % de la largeur de la partie supérieure du microcanal respectif 136. De plus, l'espace 144 peut être poreux, auquel cas l'espace « poreux » 144 peut comporter certaines liaisons c'est-à-dire certains points ou emplacements qui présentent un espace nul. De façon avantageuse,

10 les espaces 144 assurent une atténuation des contraintes pour le revêtement 150.

Le composant 100 est décrit en référence aux figures 2 et 6 à 9. Comme indiqué par exemple sur la figure 2, le composant 100 comprend un substrat 110 avec une surface extérieure 112 et une

15 surface intérieure 116. Comme indiqué par exemple sur la figure 2, la surface intérieure 116 du substrat 110 définit au moins un espace intérieur creux 114. Comme indiqué par exemple sur les figures 2, 6 et 8, la surface extérieure 112 du substrat 110 définit un certain nombre de gorges 132. Comme indiqué par exemple sur les figure 6,

20 8 et 9, chacune des gorges 132 s'étend au moins partiellement le long de la surface 112 du substrat 110 et possède une base 134 et une partie supérieure 136. Comme indiqué par exemple sur la figure 6, la base 134 d'une gorge respective 132 est plus large que la partie supérieure 136 de la gorge respective 132, de sorte que chacune des

25 gorges 132 comprend une gorge de forme rentrante 132. Des trous d'accès 140 s'étendent à travers les bases respectives 134 des gorges 132 pour assurer une communication fluide entre les gorges 132 et le ou les espaces intérieurs creux 114, comme représenté par exemple sur la figure 6. Comme expliqué ci-dessus, les trous

30 d'accès 140 peuvent être normaux par rapport à la base 134 des

gorges respectives 132 (comme représenté sur la figure 6) ou peuvent être percés avec des angles situés dans la plage de 20 à 90 degrés par rapport à la base 134 de la gorge 132.

Comme indiqué par exemple sur la figure 6, le composant  
5 100 comporte en outre au moins un revêtement 150 disposé au-dessus d'au moins une partie de la surface 112 du substrat 110, dans lequel les gorges 132 et le revêtement 150 définissent un certain nombre de canaux de forme rentrante 130 pour refroidir le  
10 composant 100. Pour l'exemple de configuration représenté sur les figures 8 et 9, les microcanaux 130 canalisent l'écoulement de refroidissement depuis le trou d'accès respectif 140 jusqu'au trou pelliculaire de sortie 142. Des exemples de plages pour les longueurs des microcanaux sont fournis ci-dessus. Comme indiqué  
15 ci-dessus, les microcanaux 130 peuvent être utilisés n'importe où sur les surfaces des composants (corps du profil, bords d'attaque, bords de fuite, extrémités des lames, parois d'extrémité, plates-formes). De plus, bien que les microcanaux soient représentés avec des parois rectilignes, les canaux 130 peuvent avoir une configuration quelconque, ils peuvent par exemple être rectilignes,  
20 incurvés ou posséder de multiples courbes, etc. Des exemples de revêtement sont également fournis ci-dessus. Pour l'exemple d'agencement illustré sur les figures 2, 8 et 9, le revêtement 150 s'étend longitudinalement le long de la surface extérieure en forme de profil 112 du substrat 110. Le revêtement 150 se conforme à la surface extérieure du profil 112 et recouvre les gorges 132 formant  
25 des microcanaux 130. Le revêtement 150 comprend un deuxième matériau qui peut être un quelconque matériau convenable et il est lié à la surface extérieure en forme de profil 120 du substrat 110. Des exemples de plages d'épaisseur du revêtement 150 sont fournis  
30 ci-dessus. Des exemples non limitatifs du revêtement 150

comportent des revêtements métalliques, des couches d'accrochage et des revêtements de barrière thermique.

Comme expliqué ci-dessus, il est souhaitable que la base 134 de la gorge 132 soit considérablement plus grande que la partie supérieure 136 de la gorge, afin de déposer le revêtement 150 au-dessus de la gorge 132 sans que le revêtement ne remplisse la gorge 132. Ceci permet en outre la formation d'un microcanal suffisamment grand 130 pour satisfaire aux exigences de refroidissement du composant 100. Pour des configurations particulières, la base 134 d'une gorge respective parmi les gorges de forme rentrante 132 est au moins 2 fois plus large que la partie supérieure 136 de la gorge respective 132. Plus particulièrement, la base 134 de la gorge respective de forme rentrante 132 se situe dans une plage de 3 à 4 fois plus large que la partie supérieure 136 de la gorge respective 132.

De façon similaire, pour des configurations particulières, une paroi 138 (voir par exemple la figure 7) d'une gorge respective des gorges de forme rentrante 132 est orientée selon un angle  $\phi$  (voir par exemple la figure 3) dans une plage d'environ 10 à 89 degrés par rapport à la normale 52 à la surface. Plus particulièrement, la paroi 138 de la gorge respective parmi les gorges de forme rentrante 132 est orientée d'un angle  $\phi$  dans une plage d'environ 20 à 45 degrés par rapport à la normale 52 à la surface. Comme indiqué ci-dessus, les parois des gorges 138 peuvent être rectilignes, comme représenté par exemple sur la figure 7 ou peuvent être incurvées (non représentées). Pour les parois incurvées 138, l'angle  $\phi$  doit être compris comme l'angle moyen  $\phi$  de la paroi incurvée 138. Pour certaines configurations du composant 100, le revêtement 150 pontonne complètement les gorges respectives 132, comme représenté par exemple sur la figure 7, de

telle sorte que le revêtement 150 ferme hermétiquement les microcanaux respectifs 130. Pour d'autres configurations de composant 100, le revêtement 150 définit un ou plusieurs espaces poreux 144, comme indiqué sur la figure 11, tels que le revêtement 5 150 ne ferme pas complètement chacune des gorges respectives 132. De façon avantageuse, les espaces poreux 144 assurent une atténuation des contraintes pour le revêtement 150.

Un procédé de revêtement d'un composant 100 sans utiliser de produit de remplissage sacrificiel est décrit en référence aux 10 figures 2 à 9 et 11. Comme indiqué par exemple sur les figures 3 à 6, le procédé comporte la formation d'un certain nombre de gorges 132 dans une surface 112 d'un substrat 110. Bien que les figures 3 à 6 illustrent la formation de gorges de forme rentrante 132, pour d'autres configurations (non expressément illustrées) les gorges sont 15 de simples gorges (à savoir avec des parties supérieures 136 et des bases de largeur approximativement égale). Comme indiqué par exemple sur les figures 2 et 6, le substrat 110 comporte au moins un espace intérieur creux 114. Comme indiqué par exemple sur la 20 figure 8, chacune des gorges 132 s'étend au moins partiellement le long de la surface 112 du substrat 110. Pour appliquer le revêtement 150 sans utiliser de produit de remplissage sacrificiel, la largeur de la partie supérieure 136 est généralement d'environ 0,1 mm à 0,5 mm et plus particulièrement, d'environ 0,2 mm à 0,35 mm.

Comme indiqué sur la figure 10, dans le cas d'un revêtement 25 incliné, le procédé de revêtement d'un composant 100 sans utiliser de produit de remplissage sacrificiel comporte en outre le dépôt d'un revêtement 150 au-dessus d'au moins une partie de la surface 112 du substrat 110 directement au-dessus des gorges ouvertes parmi les gorges 132. Tel qu'il est ici utilisé, le terme « ouverte » 30 signifie que les gorges 132 sont vides, c'est-à-dire qu'elles ne sont

pas remplies avec un produit de remplissage sacrificiel. Comme  
indiqué sur la figure 6, dans le cas des gorges rentrantes, les gorges  
132 et le revêtement 150 définissent un certain nombre de canaux  
130 pour refroidir le composant 100. Bien que ces gorges simples  
5 (c'est-à-dire, des gorges avec des parties supérieures 136 et des  
bases de largeur approximativement égale) soient moins efficaces  
pour refroidir le composant que les gorges de forme rentrante, les  
gorges simples permettent toujours de façon avantageuse d'effectuer  
un revêtement sans produits de remplissage et lessivage.

10 Comme expliqué ci-dessus, le substrat 110 est généralement  
coulé avant de former les gorges 132 dans la surface 112 du substrat  
110. Comme expliqué ci-dessus en référence à la figure 6, le  
procédé comporte en outre de façon facultative la formation d'un  
certain nombre de trous d'accès 140. Chacun des trous d'accès 140  
15 est formé à travers la base 134 d'une gorge respective parmi les  
gorges 132, pour relier la gorge 132 en communication fluide avec  
un ou plusieurs espaces respectifs parmi le ou les espaces intérieurs  
creux 114. Plus particulièrement, le revêtement 150 comprend au  
moins un revêtement parmi un revêtement métallique, une couche  
20 d'accrochage et un revêtement de barrière thermique. Des  
techniques de dépôt de revêtement appropriées sont expliquées ci-  
dessus et comportent l'exécution d'un dépôt par plasma ionique, un  
processus de projection de carburant et d'oxygène à grande vitesse  
(HVOF), un processus de projection de carburant et d'air à grande  
25 vitesse (HVOF) ou un processus de projection par plasma à basse  
pression (LPPS).

Comme expliqué ci-dessus en référence à la figure 7, pour  
certaines configurations de processus, le revêtement 150 ponte  
complètement les gorges respectives 132, de telle sorte que le  
30 revêtement 150 ferme hermétiquement les canaux respectifs 130.

Comme expliqué ci-dessus en références à la figure 11, pour d'autres configurations de processus, le revêtement 150 définit un ou plusieurs espaces poreux 144 de telle sorte que le revêtement 150 ne ponte pas complètement chacune des gorges respectives 132. De façon avantageuse, cette configuration poreuse fournit une atténuation des contraintes pour le revêtement.

Les gorges rentrantes 132 éliminent la nécessité d'utiliser un produit de remplissage sacrificiel (non représenté) et un processus de suppression ultérieure. De façon avantageuse, l'élimination de ces deux étapes de traitement a le potentiel de diminuer la variabilité de fabrication, les inclusions de défauts et les erreurs humaines. En outre, les canaux rentrants 130 permettent également de réparer les composants 100 sans nécessité d'un produit de remplissage et d'un lessivage.

De plus, les gorges rentrantes décrites ci-dessus 132 peuvent être utilisées en combinaison avec les techniques de dépôt de revêtement incliné fournies dans la demande de brevet U.S. assignée en commun déposée en même temps de Ronald S. Bunker et al., « Components and methods of fabricating and coating a component » correspondant au numéro de dossier GE 247894-1. En bref, Bunker et al. fournissent un procédé de revêtement d'un composant sans inclure le dépôt d'un revêtement 150 au-dessus d'au moins une partie de la surface 112 du substrat 110. Le revêtement 150 comprend une ou plusieurs couches 50 et au moins l'une des couches 50 est déposée en faisant un angle  $\alpha$  situé dans la plage d'environ 20 à 80 degrés et plus particulièrement d'environ 50 à 70 degrés par rapport à une normale 52 à la surface pour le substrat 110, comme indiqué par exemple sur la figure 10. De façon avantageuse, en appliquant le revêtement selon un angle de dépôt

significatif, le revêtement peut ponter la gorge 132 sans produit de remplissage ou produit de remplissage partiel.

5 Bien que seules certaines propriétés de l'invention aient été illustrées et ici décrites, un grand nombre de modifications et de variantes apparaîtront aux hommes de l'art. On comprendra en conséquence que les revendications annexées sont destinées à recouvrir toutes ces modifications et variantes appartenant à l'esprit réel de l'invention.

### Liste des parties

	10	système de turbine à gaz
	12	compresseur
5	14	chambre de combustion
	16	turbine
	18	arbre
	20	injecteur de carburant
	50	couche(s) de revêtement
10	52	normale à la surface
	80	trajet d'écoulement des gaz chauds
	100	composant d'écoulement des gaz chauds
	110	substrat
	112	surface extérieure du substrat
15	114	espace intérieur creux
	116	surface intérieure du substrat
	130	canaux de forme rentrante
	132	gorge(s) de forme rentrante
	134	base de la gorge
20	136	partie supérieure (ouverture) de la gorge
	138	paroi de la gorge de forme rentrante
	140	trou(s) d'accès
	142	trou(s) de refroidissement pelliculaire(s)
	144	espace(s) poreux
25	150	revêtement(s)
	160	jet de liquide abrasif



## REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un composant (100), le procédé comprenant :

5 la formation d'une ou plusieurs gorges (132) dans une surface (112) d'un substrat (110), dans lequel le substrat (110) possède au moins un espace intérieur creux (114), dans lequel chaque gorge parmi la ou les gorges (132) s'étend au moins partiellement le long de la surface (112) du substrat (110) et possède une base (134) et une partie supérieure (136), dans lequel  
10 la base (134) est plus large que la partie supérieure (136), de sorte que chaque gorge parmi la ou des gorges (132) comprend une gorge de forme rentrante (132) ;

la formation d'un ou plusieurs trous d'accès (140) à travers la base (134) d'une gorge respective parmi la ou les gorges (132),  
15 pour relier la gorge (132) en communication fluide avec des espaces respectifs parmi le ou les espaces intérieurs creux (114) ; et

la disposition d'un revêtement (150) au-dessus d'au moins une partie de la surface (117) du substrat (112), où la ou les gorges (132) et le revêtement (150) définissent un ou plusieurs canaux de  
20 forme rentrante (130) pour refroidir le composant (100).

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la ou les gorges de forme rentrante (132) sont formées en dirigeant un jet de liquide abrasif (160) selon un angle latéral par rapport à la surface (112) du substrat (110) dans un premier passage du jet de liquide abrasif (160) puis en effectuant un passage suivant selon un angle  
25 sensiblement opposé à celui de l'angle latéral.

3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la base (134) d'une gorge respective parmi la ou les gorges de formes

rentrantes (132) se situe dans une plage environ 3 à 4 fois plus large que la partie supérieure (136) de la gorge respective (132).

4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel une paroi (138) d'une gorge respective parmi la ou les gorges de forme  
5 rentrante (132) est orientée d'un angle  $\phi$  situé dans une plage d'environ 20 à 45 degrés par rapport à la normale à la surface (52).

5. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la disposition d'un revêtement (150) au-dessus d'au moins la partie de  
la surface (112) du substrat (110) comprend l'exécution d'au moins  
10 une action parmi :

un dépôt par plasma ionique ;

une projection de carburant et d'oxygène à grande vitesse (HVOF) ;

une projection de carburant et d'air à grande vitesse  
15 (HVOF) ; ou

un processus de projection de plasma à basse pression (LPPS).

6. Composant (100) comprenant :

un substrat (110) comprenant une surface extérieure (112) et  
20 une surface intérieure (116), dans lequel la surface intérieure (116) définit au moins un espace intérieur creux (114), dans lequel la surface extérieure (112) définit une ou plusieurs gorges (132), dans lequel chacune parmi la ou les gorges (132) s'étend au moins partiellement le long de la surface (112) du substrat (110) et  
25 possède une base (134) et une partie supérieure (136), dans lequel la base (134) est plus large que la partie supérieure (136) de sorte que chaque gorge parmi la ou les gorges (132) comprend une gorge de forme rentrante (132), dans lequel un ou plusieurs trous d'accès (140) sont formés à travers la base (134) d'une gorge respective  
30 parmi la ou les gorges (132), pour relier des gorges respectives

parmi la ou les gorges (132) en communication fluide avec des espaces respectifs parmi le ou les espaces intérieurs creux (114) ; et

au moins un revêtement (150) disposé au-dessus d'au moins une partie de la surface (112) du substrat (110), dans lequel la ou les gorges (132) et le revêtement (150) définissent un ou plusieurs canaux de forme rentrante (130) pour refroidir le composant (100).

7. Composant (100) selon la revendication 6, dans lequel la base (134) d'une gorge respective parmi la ou les gorges de forme rentrante (132) se situe dans une plage d'environ 3 à 4 fois plus large que la partie supérieure (136) de la gorge respective (132) et dans lequel une paroi (138) d'une gorge respective parmi la ou les gorges de forme rentrante (132) est orientée d'un angle  $\phi$  dans une plage d'environ 20 à 45 degrés par rapport à la normale à la surface (52).

8. Composant (100) selon la revendication 6, dans lequel le revêtement (150) ponté complètement la gorge parmi la ou les gorges respectives (132) de façon que le revêtement (150) ferme hermétiquement les canaux respectifs (130).

9. Composant (100) selon la revendication 6, dans lequel le revêtement (150) définit un ou plusieurs espaces poreux (144) de façon que le revêtement (150) ne ponté pas complètement chaque gorge parmi la ou les gorges respectives (132).

10. Procédé de revêtement d'un composant (100) sans utiliser de produit de remplissage sacrificiel, le procédé comprenant :

la formation d'une ou plusieurs gorges (132) dans une surface (112) d'un substrat (110), dans lequel le substrat (110) possède au moins un espace intérieur creux (114), dans lequel chaque gorge parmi la ou les gorges (132) s'étend au moins partiellement le long de la surface (112) du substrat (110) et

possède une base (134) et une partie supérieure (136), dans lequel la partie supérieure (136) a une largeur d'environ 0,1 mm à 0,5 mm ;

le dépôt d'un revêtement (150) au-dessus d'au moins une partie de la surface (112) du substrat (110) directement au-dessus  
5 des gorges ouvertes parmi la ou les gorges (132), dans lequel la ou les gorges (132) et le revêtement (150) définissent un ou plusieurs canaux (130) pour refroidir le composant (100) ;

le coulage du substrat (110) avant de former la ou les gorges (132) dans la surface (112) du substrat (110) ; et

10 la formation d'un ou plusieurs trous d'accès (140) à travers la base (134) d'une gorge respective parmi les gorges (132) pour relier la gorge (132) en communication fluide avec des espaces respectifs parmi l'au moins un espace intérieur creux (114),

15 dans lequel le revêtement (150) comprend au moins un revêtement parmi un revêtement métallique, une couche d'accrochage et un revêtement de barrière thermique et dans lequel la disposition d'un revêtement (150) au-dessus d'au moins la partie de la surface (112) du substrat (110) comprend l'exécution d'au moins une action parmi :

20 un dépôt par plasma ionique ;

une projection de carburant et d'oxygène à grande vitesse (HVOF) ;

une projection de carburant et d'air à grande vitesse (HVAF) ; ou

25 un processus de projection de plasma à basse pression (LPPS).

1/5

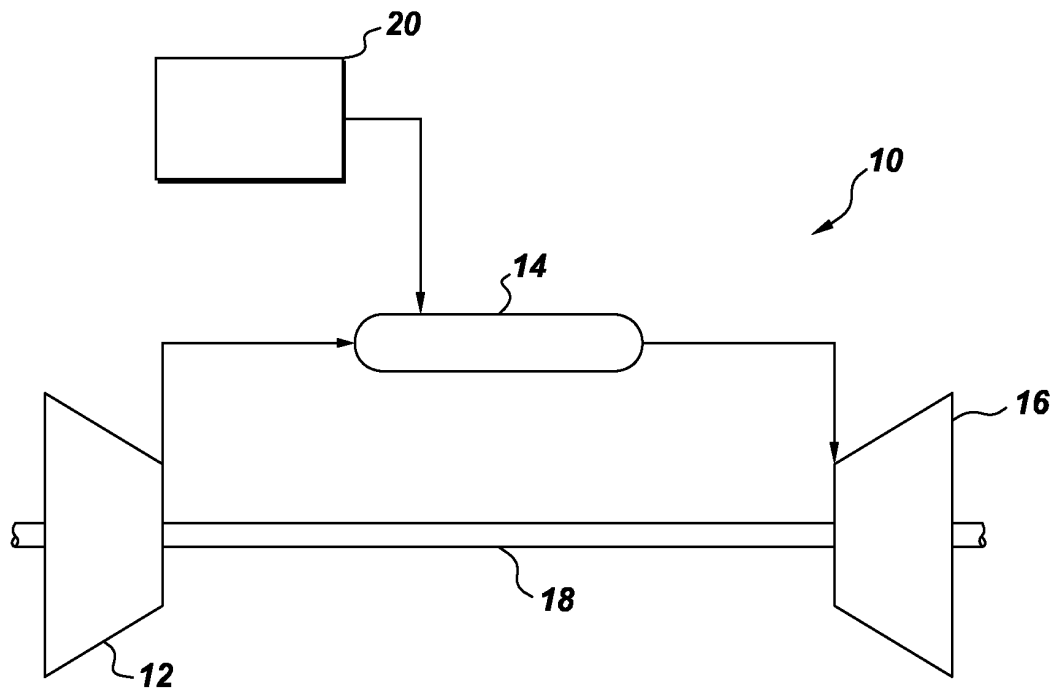


FIG. 1

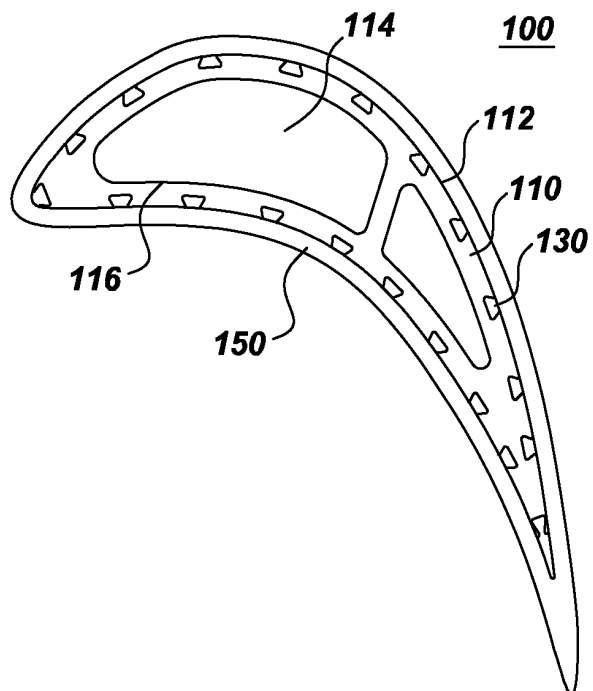


FIG. 2

2/5

FIG. 3

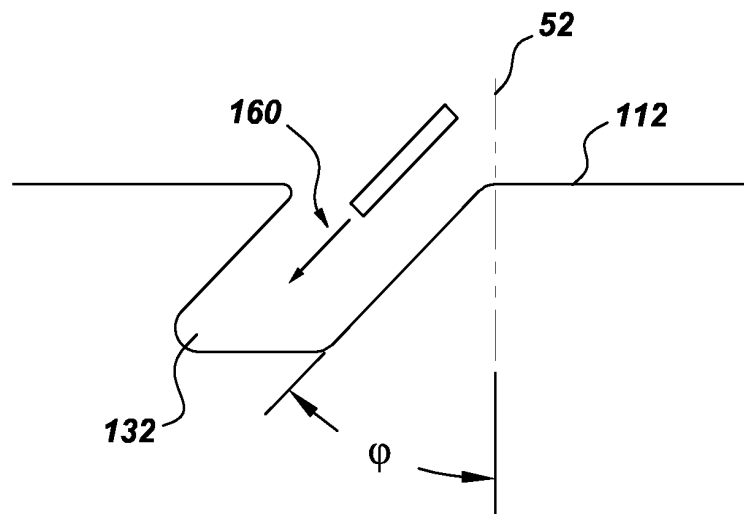


FIG. 4

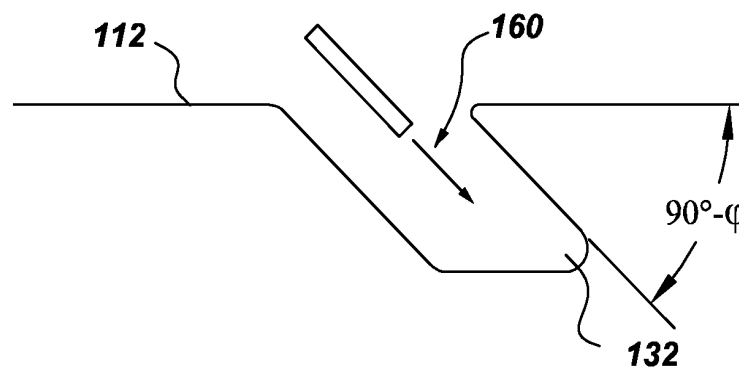
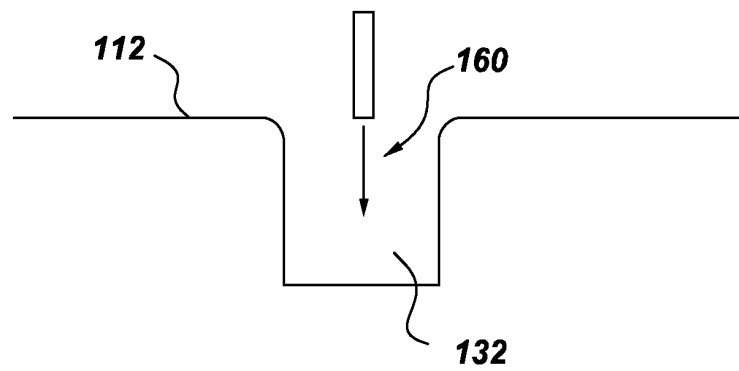


FIG. 5



3/5

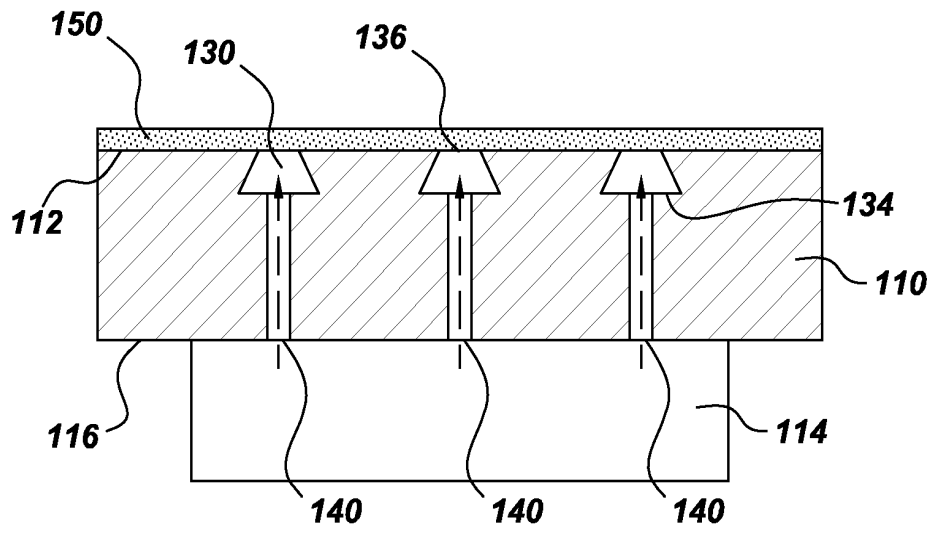


FIG. 6

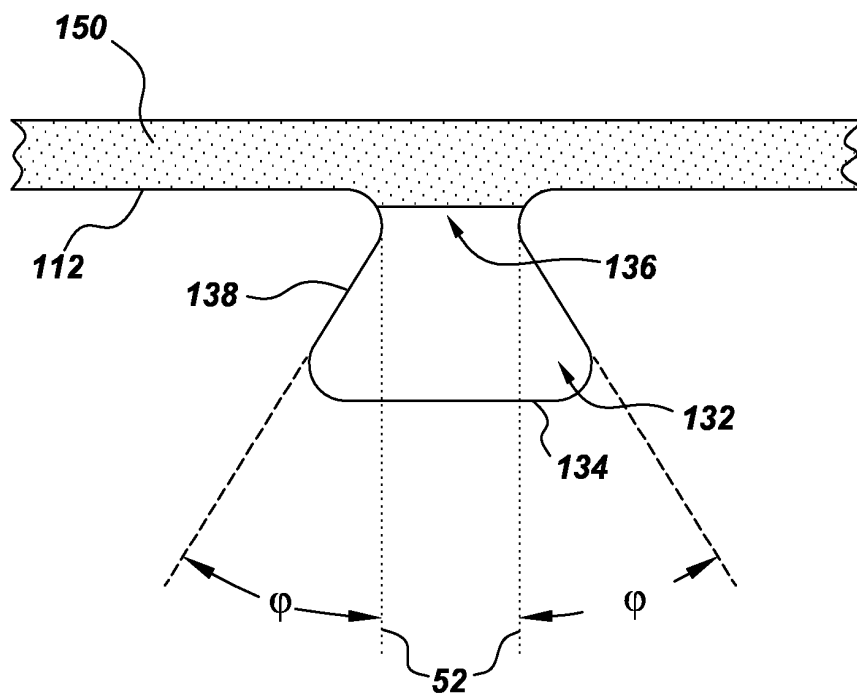


FIG. 7

4/5

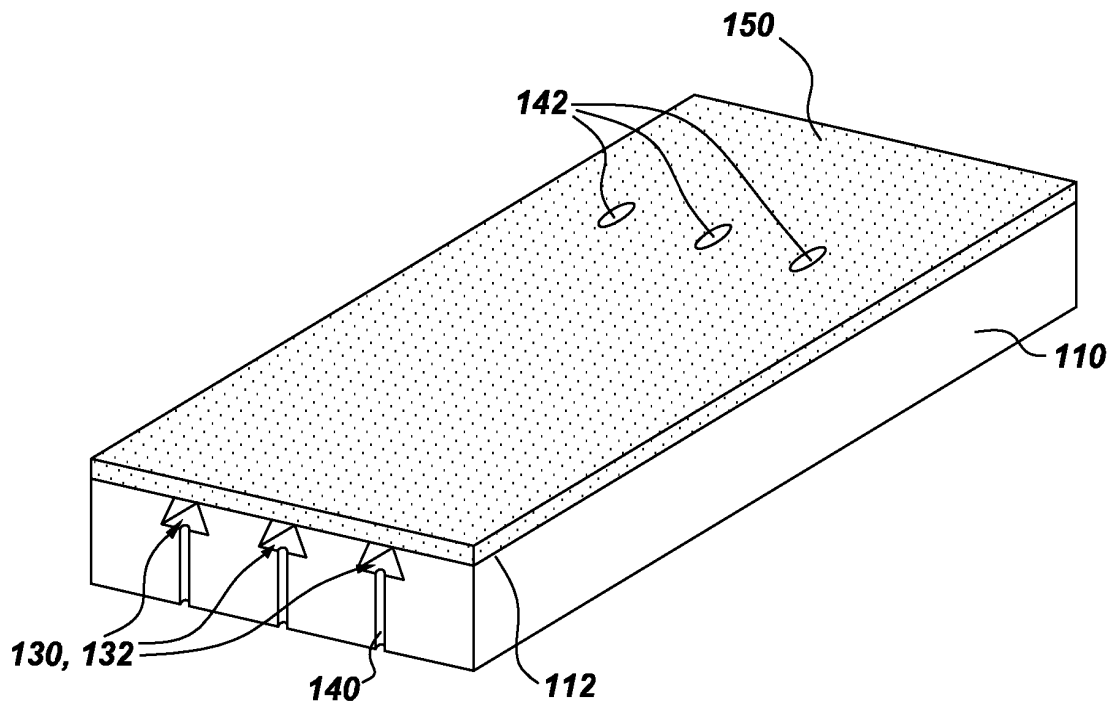


FIG. 8

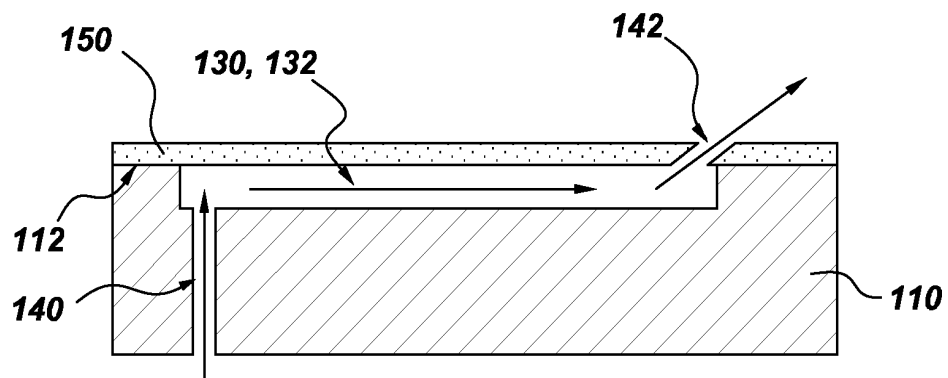


FIG. 9



5/5

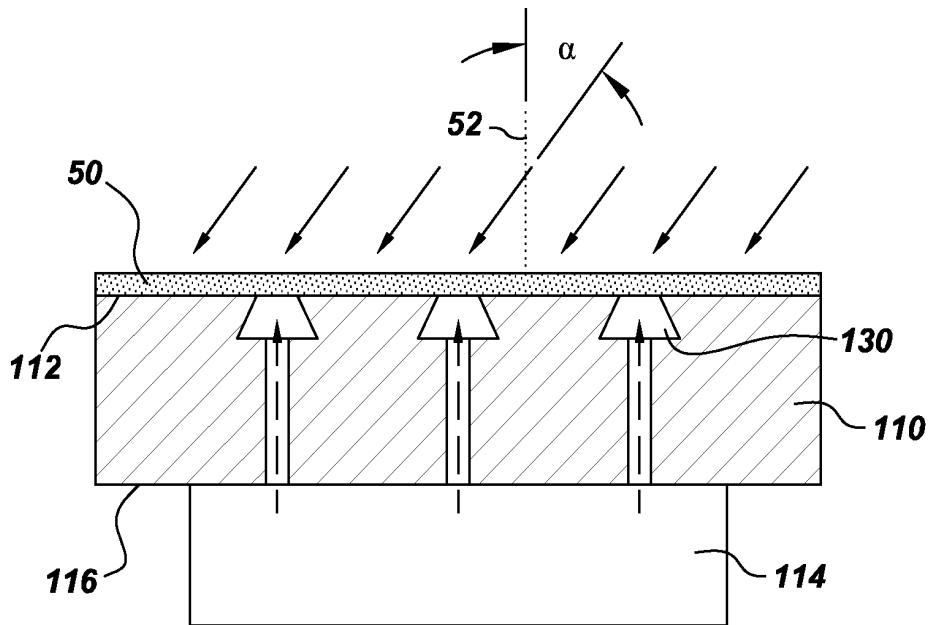


FIG. 10

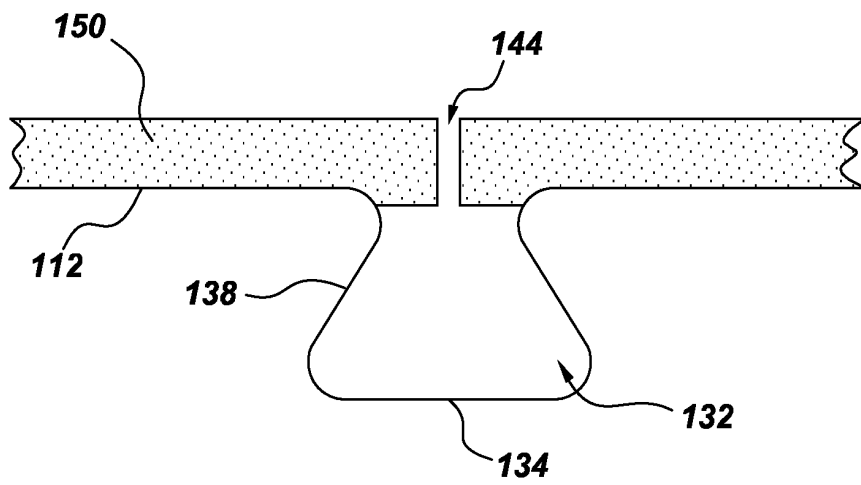


FIG. 11