

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

(11) Nº de publication : **2 967 169**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)
(21) Nº d'enregistrement national : **11 60221**
(51) Int Cl⁸ : **C 23 C 26/00** (2012.01), B 23 P 15/04, F 01 D 5/18

(12)

BREVET D'INVENTION

B1

(54) COMPOSANT ET PROCEDES DE FABRICATION ET DE REVETEMENT D'UN COMPOSANT.

(22) Date de dépôt : 09.11.11.

(30) Priorité : 10.11.10 US 12943646.

(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 : 11.05.12 Bulletin 12/19.

(45) Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 13.09.19 Bulletin 19/37.

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

Se reporter à la fin du présent fascicule

(72) Inventeur(s) : BUNKER RONALD SCOTT, GRAY DENNIS MICHAEL et LIPKIN DON MARK.

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

(74) Mandataire(s) : CASALONGA.

FR 2 967 169 - B1



Composant et procédés de fabrication et de revêtement d'un composant

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.

20 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 nécessite alors leur refroidissement pour obtenir une longue durée 25 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.

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 plenum 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 fugtif 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 dépôt de revêtement sur des composants de trajet de gaz chauds pour former des canaux de refroidissement dans ceux-ci éliminant la nécessité des processus de remplissage ou de suppression. Il serait de plus souhaitable de fournir un procédé de dépôt de revêtements sur des composants de trajet de gaz chauds diminuant la quantité de revêtement déposé sur l'intérieur des surfaces exposées des parois des canaux lorsque le dépôt s'effectue sans utiliser de produit de remplissage sacrificiel.

Un aspect de la présente invention concerne un procédé de revêtement d'un composant comprenant un substrat, où une ou plusieurs gorges sont formées dans le substrat et s'étendent au moins partiellement le long d'une surface de celui-ci. Le procédé comprend le dépôt d'un revêtement sur au moins une partie de la

surface du substrat, où le revêtement comprend une ou plusieurs couches. Au moins l'une des couches est déposée selon un ou plusieurs angles incluant un angle α , où α se situe dans la plage d'environ 10 à 85 degrés par rapport à une normale à la surface du substrat. La ou les gorges et le revêtement définissent ensemble un ou plusieurs canaux pour refroidir le composant.

Un autre aspect de l'invention concerne un composant comprenant un substrat comprenant une surface extérieure et une surface intérieure, où la surface intérieure définit au moins un espace intérieur creux, où la surface extérieure définit une ou plusieurs gorges et où chaque gorge parmi la ou les gorges s'étend au moins partiellement le long de la surface du substrat et possède une base. Un ou plusieurs trous d'accès s'étendent à travers la base d'une gorge respective parmi la ou les gorges pour mettre la gorge en communication fluide avec des espaces respectifs parmi l'au moins un espace intérieur creux. Le composant comporte en outre un revêtement disposé au-dessus d'au moins une partie de la surface du substrat. Le revêtement comprend une ou plusieurs couches et au moins l'une des couches définit une ou plusieurs fentes perméables, de telle sorte que la couche respective ne pente pas complètement chaque gorge parmi la ou les gorges. Les gorges et le revêtement définissent ensemble un ou plusieurs canaux pour refroidir le composant.

Encore un autre aspect de l'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 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. 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 de l'au moins un espace intérieur creux. Le procédé comporte en outre le dépôt d'un revêtement au-dessus d'au moins une partie de la surface du substrat, de façon que la ou les gorges et le revêtement définissent ensemble un ou plusieurs canaux pour refroidir le composant. La ou les gorges ne sont pas remplies lorsque le revêtement est déposé au-dessus de la ou des gorges.

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 une couche de revêtement avec une microstructure orientée selon un angle α par rapport à la normale à la surface selon des aspects de la présente invention ;

- la figure 3 est une section transversale schématique d'une partie d'un circuit de refroidissement avec des canaux de refroidissement formés dans un substrat et une couche de revêtement disposée sur le substrat avec une microstructure orientée selon un angle α par rapport à la normale à la surface du substrat ;

- la figure 4 est une section transversale schématique d'une partie d'un circuit de refroidissement avec des canaux de refroidissement formés dans un substrat et une première et une deuxième couches de revêtement empilées sur le substrat avec des microstructures respectives orientées selon des angles α et β par rapport à la normale à la surface du substrat ;

- la figure 5 représente quatre exemples de canaux de refroidissement formé d'un substrat en alliage au nickel avec une première couche de revêtement d'alliage de nickel déposée selon un angle α d'environ 45 degrés par rapport à la normale à la surface du substrat ;

- la figure 6 représente les quatre exemples de canaux de refroidissement de la figure 5 avec une deuxième couche de revêtement supplémentaire en alliage au nickel déposée selon un angle β d'environ 45 degrés par rapport à la normale à la surface du substrat ;

- la figure 7 est une section transversale schématique d'une partie d'un circuit de refroidissement avec des canaux de refroidissement rentrants et des premières et deuxième couches de revêtement empilées sur le substrat avec des microstructures respectives orientées selon des angles α et β par rapport à la normale à la surface du substrat ;

- la figure 8 représentent schématiquement vu en perspective, trois exemples de microcanaux s'étendant partiellement le long de la surface du substrat et de l'agent de refroidissement du canal par rapport à des trous de refroidissement pelliculaires respectifs ;

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

- la figure 10 représente schématiquement en section transversale une gorge de forme rentrante avec un revêtement s'étendant au-dessus de la partie supérieure de la gorge pour former un canal de forme rentrante.

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 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 « 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 (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 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 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 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'une couche de recouvrement. Un fluide de refroidissement peut être prévu pour les canaux à partir d'un plenum et le fluide de refroidissement peut traverser les canaux, refroidissant le revêtement.

Un procédé de revêtement d'un composant sans est décrit en référence aux figures 2 à 9. Comme indiqué par exemple sur les figures 3, 4 et 7, le procédé comporte la formation d'une ou plusieurs gorges 132 dans un substrat 110. Dans les exemples illustrés, plusieurs gorges 132 sont formées sur le substrat 110. Comme indiqué par exemple sur les figures 8 et 9, les gorges 132 s'étendent au moins partiellement le long d'une surface 112 du substrat 110. Comme indiqué par exemple sur les figures 3 et 4, le procédé comporte en outre le dépôt d'un revêtement 150 sur au moins 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 (non remplies) 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. Toutefois, pour une autre configuration du processus qui est décrite ci-dessous, un produit de remplissage sacrificiel est utilisé.

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° 5 626 426, les revêtements 150 sont liés à des parties de la surface 112 du substrat 110. Le revêtement 150 comprend une ou plusieurs couches 50.

Pour l'exemple d'agencement représenté sur la figure 3, au moins l'une des couches 50 est déposée selon un angle α se situant dans une plage d'environ 20 à 85 degrés par rapport à une normale 52 à la surface du substrat 110. Plus particulièrement, l'angle de dépôt α illustré se situe dans une plage d'environ 45 à 80 degrés et encore plus particulièrement dans une plage d'environ 50 à 70 degrés par rapport à la normale 52 à la surface du substrat 110. Plus généralement, au moins l'une des couches 50 est déposée selon un ou plusieurs angles. Comme représenté sur la figure 3, l'angle α et de façon similaire, l'angle β de la figure 4 sont définis par rapport à la normale 52 à la surface du substrat 110. Les figures 3 et 4 représentent les gorges 132 perpendiculaires au plan des pages, c'est-à-dire en coupe transversale par rapport à la direction des gorges. Toutefois, des gorges ayant des orientations différentes peuvent également être formées dans le substrat 110 et pour de telles gorges, un micro-dépôt n'est pas possible de telle sorte que les angles de dépôt de revêtement sont toujours transversaux par rapport à la direction des gorges, mais l'angle de revêtement est plutôt en effet un angle composite ayant l'angle défini α et β par rapport à la normale à la surface, mais également un angle (non représenté) par rapport à la direction locale des gorges.

Comme représenté sur les figures 3, 4, 8 et 9, par exemple, les gorges 132 et le revêtement 150 définissent ensemble un certain nombre de canaux 130 pour refroidir le composant 100. Bien que les gorges 132 et les canaux 130 soient représentés comme étant rectangulaires sur les figures 3, 4, 8 et 9, ils peuvent également prendre d'autres formes. Par exemple, les gorges 132 (et les canaux 130) peuvent être des gorges rentrantes 132 (des canaux rentrant 130), comme décrit ci-dessous en référence aux figures 7 et 10. De plus, il n'est pas nécessaire que les parois latérales des gorges 132

(canaux 130) soient rectilignes. Pour diverses applications, les parois latérales des gorges 132 (canaux 130) peuvent être incurvées ou arrondies.

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 γ et γ' , en particulier les superalliages au Ni contenant à la fois des phases γ et γ' dans lesquels la phase γ' 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 résistance au fluage à haute température qui sont avantageuses pour être utilisées dans des applications de moteurs à turbine utilisés pour des aéronefs.

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 comprenant Nb-(27-40)Ti-(4,5-10,5)Al-(4,5-7,9Cr-(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 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).

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 microcanaux 130. 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 représentée sur la figure 9, le micro Canal 130 achemine un agent de refroidissement d'un trou d'accès 140 à un trou de refroidissement pelliculaire 142. On notera que 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 également utilisés. Pour les exemples d'agencement illustrés sur les figures 8 et 9, les microcanaux 130 canalisent l'écoulement de refroidissement allant du trou d'accès respectif 140 au trou pelliculaire de sortie 142. Pour les exemples d'agencement illustré sur les figures 8 et 9, les microcanaux 130 canalisent l'écoulement de refroidissement du trou d'accès respectif 140 au trou pelliculaire de sortie 142. Pour les exemples représentés sur les figures 8 et 9, les gorges acheminent un fluide vers les trous pelliculaires de sortie 142. Toutefois, d'autres configurations ne nécessitent pas un trou pelliculaire, les

microcanaux s'étendant simplement le long de la surface du substrat 112 et sortant sur un bord du composant, tel que le bord de fuite de l'extrémité d'une aube ou un bord de paroi d'extrémité. On notera de plus que bien que les trous pelliculaires soient représentés sur la 5 figure 8 comme étant circulaires, ceci n'est qu'un exemple non limitatif. Les trous pelliculaires peuvent également être des trous de forme non circulaire.

La longueur du microcanal est généralement située dans la plage de 10 à 1000 fois le diamètre du trou pelliculaire et plus 10 particulièrement, dans la plage de 20 à 100 fois le diamètre du trou pelliculaire. De façon avantageuse, les microcanaux 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 microcanaux 15 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 20 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 25 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 100.

Dans l'exemple de configuration représenté sur la figure 4, 30 le revêtement 150 comprend deux couches 54, 56. Bien que deux

couches de revêtement 54 et 56 seulement soient représentées sur la figure 4, des couches de revêtement supplémentaires 50 peuvent être appliquées pour certaines applications. Pour l'exemple d'agencement représenté sur la figure 4, la première couche 54 des couches 50 est 5 déposée sur le substrat 110 selon un angle α et la deuxième couche 56 des couches 50 est déposée au-dessus de la première couche 56 selon un angle β . Pour certaines configurations de processus, l'angle β peut être sensiblement le même que l'angle α (c'est-à-dire, $\beta = \alpha \pm 10^\circ$), de telle sorte que les orientations de la première 54 et de 10 la deuxième 56 couche sont sensiblement en opposition mineure. Pour d'autres configurations de processus, les angles de dépôt β et α peuvent différer plus sensiblement. Par exemple, la deuxième couche 56 peut être déposée selon un angle β qui est plus proche de la normale 52 à la surface que ne l'est l'angle de dépôt α pour la 15 première couche 54. En alternant ou en modulant l'angle de dépôt du revêtement d'un côté à un autre de telle sorte que la première couche de revêtement 54 soit appliquée selon un angle α et que la deuxième couche de revêtement 56 soit appliquée selon l'angle opposé $\beta = 180 - \alpha$, une microstructure de revêtement s'établit 20 pouvant fermer des régions laissées ouvertes par un dépôt dans une seule direction comme cela est évident d'après la comparaison des figures 5 et 6. Cette alternance peut s'effectuer pour deux couches ou pour des couches supplémentaires.

Pour les exemples de configuration représentés sur la figure 25 4, les première et deuxième couches de revêtement 54, 56 pontent complètement les gorges respectives 132, de telle sorte que le revêtement 150 ferme hermétiquement les microcanaux respectifs 130. Toutefois, pour d'autres configurations, la première couche 54 définit une ou plusieurs fentes perméables 144 telles que la

première couche 54 ne ponte pas complètement chacune des gorges respectives 132. Des exemples de couche poreuse 54, 56 sont représentés sur les figures 5 et 6. La figure 5 montre quatre exemples de canaux de refroidissement formée dans un substrat 5 GTD444® avec une première couche de revêtement Rene 142C® 54 déposée selon un angle α d'environ 45 degrés par rapport à la normale 52 à la surface du substrat 110. La figure 6 montre les quatre exemples de canaux de refroidissement de la figure 5 avec une deuxième couche de revêtement Rene 142C® 56 déposée selon 10 un angle β d'environ 45 degrés par rapport à la normale 52 à la surface du substrat 110. Pour une configuration plus particulière, la deuxième couche 56 définit également une ou plusieurs fentes perméables 144, telles que les première et deuxième couches 54, 56 ne pontent pas complètement chacune des gorges respectives 132. 15 Comme indiqué sur la figure 5, un espace (fente perméable) 144 possède généralement une géométrie irrégulière, la largeur de l'espace 144 variant, à mesure que le revêtement 150 est appliqué et crée une épaisseur. Initialement, lorsque la première partie du revêtement 54 est appliquée sur le substrat 110, la largeur de 20 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 % au moins de la largeur de la partie supérieure 136, à mesure que le revêtement 150 se crée. Pour des exemples particuliers, la largeur de l'espace 144 en son point le plus étroit est 25 de 5 % à 20 % la largeur de la partie supérieure du microcanal respectif 136. De plus, la fente perméable 144 peut être poreuse, auquel cas l'espace « poreux » 144 peut présenter certaines liaisons, c'est-à-dire certains points ou emplacements ayant un espace nul. De façon avantageuse, les espaces 144 assurent une atténuation des 30 contraintes pour le revêtement 150.

Toutefois, bien qu'il soit important que l'espace 144 procure une atténuation des contraintes dans le premier revêtement 54, l'espace résultant 144 dans la première couche de revêtement 54 est beaucoup plus petit que l'ouverture d'origine 136. Ainsi, le besoin 5 d'un espace dans la deuxième couche de revêtement 56 est moindre. Ainsi, bien que ceci ne soit pas expressément représenté, il existe pour certaines configurations une fente perméable 144 dans la première couche de revêtement 54 et une deuxième couche de revêtement continu 56 (sans espace). Cette configuration 10 particulière peut être obtenue, par exemple, en faisant tourner le substrat 110 autour d'un ou plusieurs axes pendant le dépôt de la deuxième couche de revêtement 56 ou sinon en déposant la deuxième couche de revêtement 56 approximativement de façon normale par rapport au substrat 110 ou plus généralement, selon un 15 angle β se situant dans la plage d'environ +/- 20 degrés par rapport à la normale 52 à la surface du substrat 110, afin de recouvrir complètement la fente perméable 144 formée dans la première couche de revêtement 54. Une autre technique permettant de produire cette configuration spécifique (à savoir, un espace 144 20 dans la première couche de revêtement 54 avec une deuxième couche de revêtement continue 56) consiste à appliquer un autre type de deuxième revêtement, par exemple un revêtement par projection au plasma dans l'air. De plus, l'application d'une deuxième couche de revêtement plus épaisse 56 finit par fermer 25 l'espace 144. Plus généralement, une fente perméable 144 peut être formée dans une ou plusieurs couches de revêtement 50 avec une couche déposée par la suite qui ponte les fentes, fermant ainsi hermétiquement efficacement les fentes 144. Ainsi, selon leurs fonctions spécifiques, les fentes perméables 144 peuvent s'étendre 30 (1) à travers la totalité des couches de revêtement ou

(2) simplement à travers certaines couches de revêtement mais pas tous les revêtements. De façon avantageuse, la fente perméable 144 joue le rôle d'atténuation de contraintes/tensions pour le ou les revêtements structurels. De plus, la fente perméable 144 peut jouer
5 le rôle de moyen de refroidissement lorsqu'elle se prolonge à travers tous les revêtements, c'est-à-dire que pour cette configuration, les fentes perméables 144 sont configurées pour acheminer un fluide de refroidissement des canaux respectifs 130 vers la surface extérieure du composant. En outre, la fente perméable 144 sert de moyen de refroidissement passif lorsqu'elle est pontée par les revêtements supérieurs dans le cas où ces revêtements sont endommagés ou dénudés.

10

15 Pour l'exemple de configuration représenté sur la figure 7, 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 chacune des gorges 132 comprend une gorge de forme rentrante 132. 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. Pour des configurations plus particulières, la base 134 de la gorge de forme rentrante respective 132 est au moins 20 3 fois et plus particulièrement dans une plage d'environ 3 à 4 fois plus large que la partie supérieure 136 de la gorge respective 132. De façon avantageuse, le dépôt de revêtement incliné décrit ci-dessus peut être utilisé en combinaison avec les gorges rentrantes 132 prévues dans la demande de brevet U.S. déposée en même temps, attribuée en commun, de Ronald S. Bunker « Components with re-entrant shaped cooling channels and methods of manufacture », correspondant au numéro de dossier GE 24624-1.

25

De façon avantageuse, en appliquant le revêtement selon un angle de dépôt significatif, le revêtement 150 peut ponter la gorge rentrante 132 sans remplissage ou remplissage partiel. De plus, les gorges rentrantes procurent un refroidissement amélioré par rapport à une simple gorge conformée (à savoir, des gorges avec des parties supérieures 136 et des bases de largeur approximativement égale) avec la même largeur à la partie supérieure 136.

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.

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, des revêtements résistant à l'oxydation et des revêtements de barrière thermique, comme expliqué plus en détail 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 alliage au nickel ou au cobalt et plus particulièrement comprend un superalliage. Par exemple, lorsque le premier matériau du substrat 110 est un superalliage au Ni contenant à la fois des phases γ et γ' , le revêtement 150 peut comprendre ces mêmes matériaux, comme expliqué plus en détail ci-dessous en référence au brevet U.S. n° 5 626 462.

Pour d'autres configurations de processus, le revêtement 150 est déposé au-dessus d'au moins une partie de la surface 112 du substrat 110 en exécutant au moins un processus de projection thermique ou un processus de projection à froid. En bref, la projection à froid est un processus de projection non thermique dans lequel une poudre métallique est accélérée dans des jets de gaz inerte. Lors de l'impact avec le substrat, les particules métalliques font l'objet d'une déformation plastique les faisant adhérer à la surface du substrat. Le processus de projection thermique peut comprendre par exemple une projection par combustion ou une projection par plasma, la projection par combustion peut comprendre une projection de carburant et d'oxygène à grande vitesse (HVOF) ou une projection de carburant et d'air à grande vitesse (HVAF) et la projection par plasma peut comprendre une projection par plasma atmosphérique (par exemple de l'air ou un gaz inerte) ou une projection par plasma basse pression (LPPS, qui est également appelée projection par plasma sous vide ou VPS). Dans un exemple non limitatif, un revêtement de NiCrAlY est déposé par HVOF ou HVAF. D'autres exemples de techniques de dépôt d'une ou plusieurs couches du revêtement 150 comportent sans limitation, une pulvérisation, un dépôt physique en phase vapeur par faisceau d'électrons, un dépôt sans électrode et une électrodéposition.

Pour certaines configurations, il est souhaitable d'utiliser plusieurs techniques de dépôt pour former le système de revêtement 150. Par exemple, la première couche 54 peut être déposée en utilisant un dépôt sous plasma ionique et une couche déposée par la suite et des couches supplémentaires facultatives (non représentées) peuvent être déposées en utilisant d'autres techniques, telles qu'un processus de projection par combustion (par exemple HVOF ou HVAF) ou en utilisant un processus de projection par plasma, tel qu'un LPPS. En fonction des matériaux utilisés, l'utilisation de différentes techniques de dépôt pour les couches de revêtement 50 peut procurer des avantages de tolérance de contrainte et/ou de ductilité.

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 γ et γ' 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_M)/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 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°C ou plus, sans faire l'objet de réactions métallurgiques affectant sensiblement 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 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 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 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 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 γ et γ' , I_S peut comprendre des composés intermétalliques Ni₃ [Ti, Ta, Nb, V], NiAl, Cr₃Si, [CrMo]_X Si, [Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V] C, Cr₃ C₂ et Cr₇ C₃ et des phases intermédiaires et M peut comprendre un superalliage au Ni comprenant un mélange des phases γ et γ' . Dans les superalliages au Ni comprenant un mélange des phases γ et γ' , 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 de NiAl, I_S peut comprendre des composés intermétalliques Ni₃ [Ti, Ta, Nb, V], NiAl, Cr₃, Si, [Cr, Mo]_X Si, [Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V] C, Cr₃ C₂ et Cr₇ C₃ 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_S 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_S/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_S comprenant un groupe consistant en des siliciures au Nb, $Cr_2 [Nb, Ti, Hf]$ et aluminures au Nb et dans lequel Nb, parmi Nb, Ti et Hf est le principal constituant de $Cr_2 [Nb, Ti, Hf]$ 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 132, sans utiliser de produit de remplissage sacrificiel pendant le dépôt du revêtement et 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 10, 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 se référant maintenant aux figures 3 et 4, pour certaines configurations, le revêtement 150 ponte complètement les gorges respectives 132, de sorte que le revêtement 150 ferme hermétiquement les microcanaux respectifs 130. Plus particulièrement, pour les exemples d'agencement représentés sur les figures 4 et 7, les première et deuxième couches de revêtement 54, 56 pontent complètement les gorges respectives 132. Pour d'autres configurations, le revêtement 150 définit une ou plusieurs fentes perméables 144, de sorte que le revêtement 150 ne ponte pas complètement chacune des gorges respectives 132, comme représenté par exemple sur les figures 5 et 6. Cette configuration poreuse assure une atténuation des contraintes pour le revêtement 150.

De façon avantageuse, en déposant le revêtement 150 selon un angle α , β , 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 outre, 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.

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 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 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 résistant à l'oxydation comportent des matériaux appartenant à la famille MCrAlY ($M=\{Ni,Co,Fe\}$) ainsi que des matériaux choisis dans la famille NiAlX ($X=\{Cr,Hf,Zr,Y,La,Si,Pt,Pd\}$).

Toutefois, pour certaines configurations de processus, des produits de remplissage et les processus de lessivages qui suivent peuvent être utilisés. Pour ces configurations de processus, le procédé comporte en outre le remplissage des gorges 132 avec un produit de remplissage (non représenté) avant le dépôt du revêtement 150. Le produit de remplissage peut par exemple être appliqué par une bouillie, revêtement par trempage au revêtement par projection du composant 100 avec une « encre » de bouillie métallique 32, de façon que les gorges 132 soient remplies. Pour

d'autres configurations, le produit de remplissage peut être appliqué en utilisant un micro-stylo ou une seringue. Pour certaines mises en œuvre, les gorges 132 peuvent déborder du matériau du produit de remplissage 32. Le produit de remplissage en excès 32 peut être 5 supprimé, il peut par exemple être essuyé de telle sorte que les gorges 132 soient « visibles ». Des exemples non limitatifs de matériaux pour le produit de remplissage 32 comportent des résines durcissant aux UV, des céramiques, des encres au cuivre ou au molybdène avec un support de solvant organique et une poudre de graphique avec une base aqueuse et un support. Plus généralement, 10 le produit de remplissage 32 peut comprendre les particules d'intérêt en suspension dans un support avec un liant facultatif. En outre, selon le type de produit de remplissage utilisé, le produit de remplissage peut ou non s'écouler dans les trous d'accès 140. Des 15 exemples de matériaux de produit de remplissage (ou moyens de remplissage du canal ou matériaux sacrificiels) sont présentés dans le brevet U.S. n° 5 640 767 attribué en commun et dans le brevet U.S. n° 6 321 449 attribué en commun. Pour cette configuration de processus, le procédé comporte en outre la suppression du produit 20 de remplissage sacrificiel des gorges 132 après dépôt du revêtement 150. Le produit de remplissage peut par exemple être lessivé des canaux 130 en utilisant un processus de lessivage chimique. Comme expliqué dans le brevet U.S. n° 5 640 767, le produit de remplissage (ou les moyens de remplissage de canal) peut être supprimé par 25 fusion/extraction, pyrolyse ou gravure, par exemple. De façon similaire, les matériaux du produit de remplissage (matériaux sacrificiels) présentés dans le brevet U.S. n° 6 321 449 peuvent être supprimés par dissolution dans l'eau, l'alcool, l'acétone, l'hydroxyde de sodium, l'hydroxyde de potassium ou l'acide nitrique.

Un composant 100 est décrit en référence aux figures 2 à 10. Comme indiqué par exemple sur la figure 2, le composant 100 comprend un substrat 110 avec 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, à 4, 7 et 8, la surface extérieure 112 définit une ou plusieurs gorges 132. Pour les exemples illustrés, le substrat 110 définit plusieurs gorges. Comme indiqué par exemple sur les figures 7 à 9, chacune des gorges 132 s'étend au moins partiellement le long de la surface 112 du substrat 110 et possède une base 134. Pour diminuer la probabilité d'un quelconque dépôt de revêtement sur les parois latérales intérieures des gorges 13, la largeur de l'ouverture du canal au sommet est de façon souhaitable dans la plage de 0,0254 à 0,0508 cm.

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 les figures 3, 4 et 7. 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 d'électrons. Les trous d'accès 140 peuvent être normaux par rapport à la base 134 des gorges respectives 132 (comme représenté sur les figures 3, 4 et 7) 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 sur les figures 3, 4 et 7, par exemple, le composant 100 comporte en outre un revêtement 150 disposé au-dessus d'au moins une partie de la surface 112 du substrat 110, le

revêtement 150 comprenant une ou plusieurs couches 50. Comme expliqué ci-dessus, les gorges 132 et le revêtement 150 définissent ensemble un certain nombre de canaux 130 pour refroidir le composant 100. Des exemples de revêtements sont fournis ci-dessus. Pour des exemples de configuration, le revêtement 150 comprend au moins un revêtement parmi un revêtement structurel, une couche d'accrochage, un revêtement résistant à l'oxydation et un revêtement de barrière thermique.

Pour les exemples d'agencement représentés sur les figures 5 et 6, au moins l'une des couches de revêtement 50 définit une ou plusieurs fentes perméables 144, de telle sorte que la couche respective 50 ne ponte pas complètement chacune des gorges respectives 132. Comme expliqué ci-dessus, pour certains agencements, les fentes perméables 144 s'étendent à travers la totalité des couches de revêtement, acheminant l'agent de refroidissement des canaux 130 jusqu'à la surface extérieure du composant. Pour d'autres configurations, une fente perméable 144 peut être formée dans une ou plusieurs couches de revêtement 50 avec une couche déposée par la suite pontant les fentes, de façon à fermer hermétiquement efficacement les fentes 144. Comme indiqué ci-dessus, les fentes perméables 144 assurent une atténuation des contraintes pour le revêtement 150. On notera de plus que bien qu'un exemple de section transversale pour l'espace 144 soit représenté sur les figures, pour d'autres agencements, la porosité (et ainsi, la section transversale) varie sur la longueur du microcanal.

Pour des configurations particulières, les espaces 144 sont utilisés pour fournir un écoulement de refroidissement à travers le ou les revêtements 150 jusqu'à la surface extérieure du composant 100. Si par exemple seuls des revêtements structurels sont appliqués, il en résulte alors un type de refroidissement par

transpiration avec des écoulements de refroidissement avantageusement purgés sur la totalité de la longueur du canal. De plus, si seul un revêtement de barrière thermique (TBC) par dépôt en phase vapeur de plasma (PVD) est appliqué, alors la nature en colonne du TBC permet de nouveau à l'écoulement de refroidissement de purger les espaces 144. Cet écoulement de refroidissement à travers les fentes perméables 144 est particulièrement avantageux pour refroidir les profils de turbines destinées à l'aviation.

Pour l'exemple de configuration représenté sur la figure 5, chacune des fentes perméables 144 est inclinée d'un angle γ par rapport à une normale 52 à la surface du substrat 110, l'angle γ se situant dans la plage d'environ 25 à 70 degrés par rapport à la normale 52 à la surface du substrat 110. L'angle d'inclinaison de la fente γ peut être associé à un angle de dépôt α en utilisant l'équation suivante :

$$\tan \alpha = 2 \tan \gamma \quad (\text{Eq. 1})$$

Pour des configurations plus particulières, l'angle γ se situe dans la plage d'environ 30 à 55 degrés par rapport à la normale 52 à la surface du substrat 110. On notera que les configurations représentées sur les figures 5 et 6 ne se produisent généralement que pour des composants qui sont immobiles pendant le processus de revêtement. De plus, pour des composants incurvés, l'angle γ peut varier sur la longueur du canal 130 en conséquence de la courbure locale du composant. De plus, pour les composants incurvés, l'angle γ peut varier pour des canaux différents en se basant sur la courbure locale du composant.

Pour l'exemple de configuration représenté sur la figure 6, l'angle d'inclinaison de la fente perméable 144 varie à travers

l'épaisseur du revêtement 150. Comme représenté sur la figure 6, l'angle d'inclinaison des fentes 144 γ' (par rapport à la normale 52 à la surface du substrat 110) dans la deuxième couche de revêtement 56 diffère de l'angle d'inclinaison des fentes 144 γ (par rapport à la normale 52 à la surface) dans la première couche de revêtement 54. L'angle d'inclinaison de la fente γ' peut être associé à un angle de dépôt β en utilisant l'équation suivante :

$$\tan \beta = 2 \tan \gamma' \quad (\text{Eq. 2})$$

Pour d'autres configurations, les fentes perméables 144 sont orientées approximativement perpendiculairement par rapport au substrat 110. Cette configuration se produit généralement lorsqu'on a fait tourner le substrat 110 autour d'un ou plusieurs axes pendant le dépôt du revêtement. Tel qu'il est ici utilisé, le terme « approximativement » doit être compris comme signifiant à +/- 15 degrés de la normale à la surface locale.

Pour les exemples de configuration représentés sur les figures 5 et 6, la première couche 54 peut définir une ou plusieurs fentes perméables 144, de telle sorte que la première couche 54 ne ponte pas complètement chacune des gorges respectives 132. De plus, pour l'exemple d'agencement représenté sur la figure 6, la deuxième couche 56 définit également une ou plusieurs fentes perméables 144, telles que les première et deuxième couches 54, 56, ne pontent pas complètement chacune des gorges respectives 132.

Comme expliqué ci-dessus, bien que les canaux 130 soient représentés avec des parois rectilignes, les canaux 130 peuvent avoir une quelconque configuration, ils peuvent par exemple être rectilignes, incurvés ou avoir des courbes multiples, etc. Pour l'exemple de configuration représenté sur les figures 7 et 10, les gorges sont de forme rentrante. C'est-à-dire que pour les agencements des figures 7 et 10, la base 134 de chacune des gorges

132 est plus large que la partie supérieure 136 de la gorge respective 132, de telle sorte que chacune des gorges 132 est une gorge de forme rentrante 132. Plus particulièrement, la base 134 de la gorge de forme rentrante respective 132 est au moins deux fois 5 plus large et encore plus particulièrement dans une plage d'environ 3 à 4 fois plus large que la partie supérieure 136 de la gorge respective 132. Pour des configurations particulières, une paroi 13 d'une gorge respective parmi les gorges de forme rentrante 132 est orientée d'un angle ϕ dans la plage d'environ 10 à 80 degrés par rapport à une normale à la surface, comme indiqué sur la figure 10 10 par exemple. Plus particulièrement, la paroi 138 de la gorge respective parmi les gorges de forme rentrante 132 est orientée d'un angle ϕ dans la plage d'environ 10 à 45 degrés par rapport à une normale à la surface.

15 Comme indiqué ci-dessus, en effectuant un dépôt de revêtement incliné sur des gorges de forme rentrantes 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 20 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 . De plus, la base plus large 134 améliore le refroidissement du canal 130.

25 Un procédé de fabrication d'un composant 100 est décrit en référence aux figures 2 à 10. Comme expliqué ci-dessus en références aux figures 3, 4 et 7, le procédé comporte la formation d'une ou plusieurs gorges 132 dans une surface 112 d'un substrat 110. Pour les exemples illustrés, des gorges multiples 132 sont formées dans la surface du substrat 112. Comme indiqué par 30 exemple sur la figure 2, le substrat 110 comporte au moins un

espace intérieur creux 114. Le substrat 110 est généralement coulé avant la formation des gorges 132 dans la surface 112 du substrat 110 et des exemples de matériaux de substrat sont fournis ci-dessus. Comme expliqué ci-dessus en références aux figures 7 à 9, chacune 5 des gorges 132 s'étend au moins partiellement le long de la surface 112 du substrat 110 et possède une base 134.

Le procédé de fabrication comporte en outre la formation d'un certain nombre de trous d'accès 140. Plus particulièrement, un ou plusieurs trous d'accès 140 sont fournis par gorge 132. Pour les 10 exemples illustrés, un trou d'accès 140 est fourni par gorge 132. Comme indiqué par exemple sur les figures 3, 4 et 7, chacun des trous d'accès 140 est formé à travers la base 134 d'une gorge respective parmi les gorges 132 pour assurer une liaison fluide entre la gorge 132 et l'espace intérieur creux 114. Des exemples de 15 géométries de trou d'accès et de procédés de formation sont fournis ci-dessus.

Comme indiqué par exemple sur la figure 3, le procédé de fabrication 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 (non remplies) 132. Tel 20 qu'il est ici indiqué, 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. Des exemples de revêtement sont fournis ci-dessus. Pour les exemples de configuration, le revêtement 150 comprend au moins un revêtement parmi un revêtement structurel, une couche d'accrochage, un revêtement résistant à l'oxydation et un 25 revêtement de barrière thermique. Le revêtement 150 peut ponter complètement les gorges respectives 132 de telle sorte que le revêtement 150 ferme hermétiquement les canaux respectifs 130, 30 comme indiqué par exemple sur les figures 3, 4 et 7. Pour d'autres

configurations, le revêtement 150 définit une ou plusieurs fentes perméables 144, de telle sorte que le revêtement 150 ne ponte pas complètement chacune des gorges respectives 132, comme représenté par exemple sur les figures 5 et 6.

5 Pour des configurations particulières, le procédé comporte en outre la rotation du substrat 110 autour d'au moins un axe pendant que le revêtement 150 est déposé, de sorte que le revêtement 150 est déposé avec un angle qui varie en continu. Telle qu'elle est ici utilisée, la formulation « qui varie en continu » doit être comprise comme variant en continu dans le temps. Le substrat peut être monté sur une monture tournante (non représentée) telle qu'une monture tournante sur un axe unique ou une monture tournante sur plusieurs axes (planétaire). Ainsi, pour une partie complexe avec une courbure variable, par exemple une lame de 10 turbine, l'angle selon lequel le revêtement est déposé par rapport à la normale à la surface varie en continu dans le temps, de sorte que les fentes perméables résultantes 144 sont approximativement perpendiculaires à la surface du substrat (c'est-à-dire, à moins de 15 +/- 15 degrés de la normale à la surface locale).

20 Pour l'exemple de configuration représentée sur la figure 7, la base de la gorge 134 est plus large que la partie supérieure 136 de la gorge, de sorte que chacune des gorges 132 comprend une gorge de forme rentrante 132. Les gorges de forme rentrante 132 peuvent être formées en utilisant une ou plusieurs techniques parmi 25 un jet de liquide abrasif, un usinage électrochimique en plongée (ECM), un usinage par décharge électrique (EDM) avec une électrode tournante (EDM de fraisage) et un usinage au laser (perçage au laser). Des techniques de formation des gorges rentrantes 132 dans le substrat 110 se sont fournies par Bunker et al. Par exemple, les gorges de forme rentrante 132 peuvent être 30

formées en dirigeant un jet de liquide abrasif (non représenté) selon un angle latéral par rapport à la surface 112 du substrat 110 lors d'un premier passage du jet de liquide abrasif, puis en effectuant un passage ultérieur selon un angle sensiblement opposé à celui de l'angle latéral et de façon facultative, en effectuant un passage supplémentaire ou le jet de liquide abrasif est dirigé vers la base 134 de la gorge 132 selon un ou plusieurs angles entre l'angle latéral et l'angle sensiblement opposé, de telle sorte que le matériau soit supprimé de la base 134 de la gorge 132, comme représenté sur les figures 3 à 5 de Bunker et al. 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 (partie supérieure 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.

Comme expliqué ci-dessus, en déposant le revêtement 150 selon un angle α , β , 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. De plus, le dépôt du revêtement 150 selon un angle α , β , facilite la prévention ou du revêtement partiel de l'intérieur des canaux de refroidissement sur la surface du composant.

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	Chambre de combustion
14	Turbine
16	Arbre
18	Injecteur de carburant
20	Couche(s) de revêtement
10	Normale à la surface du substrat
52	Première couche de revêtement
54	Deuxième couche de revêtement
56	Trajet d'écoulement des gaz chauds
80	Composant d'écoulement des gaz chauds
100	Substrat
15	Surface extérieure du substrat
110	Espace intérieur creux
112	Surface intérieure du substrat
114	Canaux
116	Gorge(s)
20	Base de la gorge
132	Partie supérieure (ouverture) de la gorge
134	Paroi de la gorge
136	Trou(s) d'accès
138	Trou(s) de refroidissement pelliculaire(s)
25	Fente(s) perméables dans le revêtement
142	Revêtement(s)
144	
150	

REVENDICATIONS

1. Composant (100) comprenant :

un substrat (110) comprenant une surface extérieure (112) et 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 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), dans lequel un ou plusieurs trous d'accès (140) s'étendent à travers la base (134) d'une gorge respective parmi la ou les gorges (132) pour mettre la gorge (132) en communication fluide avec des espaces respectifs parmi l'au moins un espace intérieur creux (114) ; et

un revêtement (150) disposé au-dessus d'au moins une partie de la surface (112) du substrat (110), dans lequel le revêtement comprend (150) une ou plusieurs couches (50) dans lequel au moins l'une des couches (50) comprend un revêtement structurel ayant une microstructure orientée selon un angle par rapport à la normale (52) à la surface du substrat (110) et définit une ou plusieurs fentes perméables (144), de telle sorte que la couche respective (50) ne ponte pas complètement chaque gorge parmi la ou les gorges (132) et dans lequel les gorges (132) et le revêtement (150) définissent ensemble un ou plusieurs canaux (130) dans les substrats (110) pour refroidir le composant (100).

2. Composant (100) selon la revendication 1, dans lequel chacune des fentes perméables (144) est inclinée d'un angle γ par rapport à une normale à la surface (52) du substrat (110) et dans lequel l'angle γ se situe dans la plage d'environ 25 à 70 degrés par rapport à la normale à la surface (52) du substrat (110).

3. Composant (100) selon la revendication 1, dans lequel les fentes perméables (144) sont orientées approximativement perpendiculairement par rapport au substrat (110).

4. Composant (100) selon la revendication 1, dans lequel le revêtement (150) comprend deux couches (50) ou plus et dans lequel une couche déposée par la suite parmi les couches (56) ne ponte pas complètement les fentes perméables (144) formées dans une couche déposée précédemment (54) de sorte que les fentes perméables (144) s'étendent à travers la couche déposée par la suite (56).

5. Composant (100) selon la revendication 1, dans lequel le revêtement (150) comprend deux couches (50) ou plus et dans lequel une couche déposée par la suite parmi les couches (56) ponte les fentes perméables (144) formées dans une couche déposée précédemment (54) de façon à fermer sensiblement hermétiquement les fentes perméables (144).

6. Composant (100) selon la revendication 1, dans lequel les fentes perméables (144) sont configurées de manière à acheminer un fluide de refroidissement du canal respectif parmi le ou les canaux (130) à une surface extérieure du composant, dans lequel le revêtement (150) comprend au moins un revêtement parmi un revêtement structurel, une couche d'accrochage, un revêtement résistant à l'oxydation et un revêtement de barrière thermique et dans lequel chaque gorge parmi la ou les gorges (132) possède 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).

7. Procédé de fabrication d'un composant (100), 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) ;

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), pour relier la gorge (132) en communication fluide avec des espaces respectifs de l'au moins un espace intérieur creux (114) ; et

le dépôt d'un revêtement structurel selon un angle par rapport (150) au-dessus d'au moins une partie de la surface (112) du substrat (110) définissant au moins un canal au moins partiellement ouvert, de façon que la ou les gorges (132) et le revêtement (150) définissent ensemble un ou plusieurs canaux (130) dans le substrat pour refroidir le composant (100), et dans lequel la ou les gorges (132) ne sont pas remplies lorsque le revêtement (150) est déposé au-dessus de la ou des gorges (132).

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel le revêtement (150) comprend une ou plusieurs couches (50), et dans lequel au moins l'une des couches (50) définit une ou plusieurs fentes perméables (144) tels que la couche respective (50) ne ponte pas complètement chaque couche parmi la ou les couches (132).

9. Procédé selon la revendication 7, comprenant en outre la rotation du substrat (110) autour d'au moins un axe pendant que le revêtement (150) est déposé, de façon que le revêtement (150) soit déposé avec un angle variant en continu.

10. Procédé selon la revendication 7, dans lequel chaque gorge parmi la ou les gorges (132) possède 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), et dans lequel à la normale (52) à la surface du substrat (110) la ou les gorges de forme rentrante (132) sont formées en utilisant une ou plusieurs techniques parmi un jet de liquide abrasif, un usinage

électrochimique en plongée (ECM), un usinage par décharge électrique (EDM) avec une électrode tournante (EDM de fraisage) et un usinage au laser (perçage au laser).

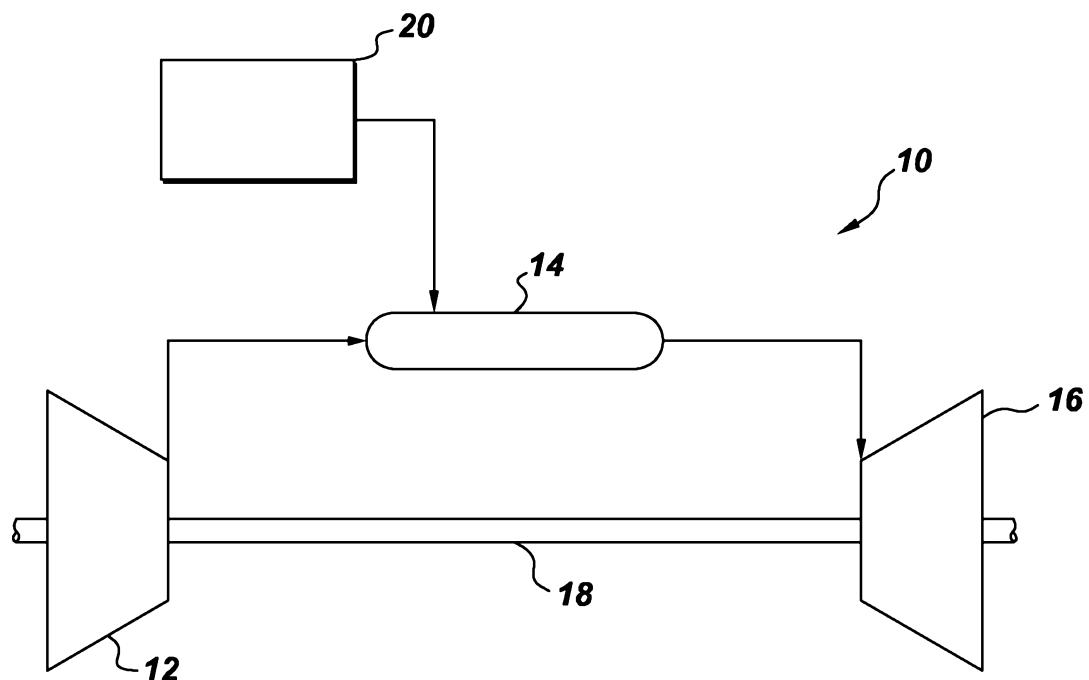


FIG. 1

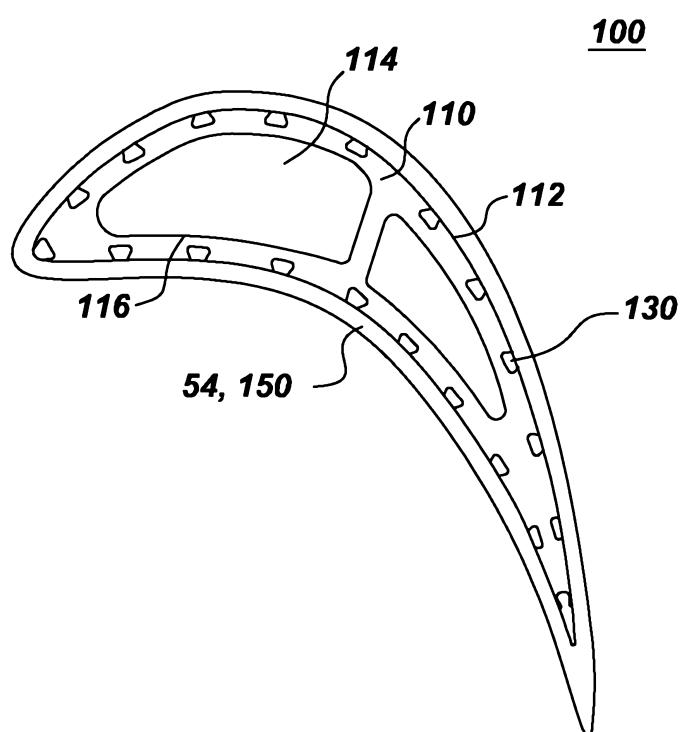


FIG. 2

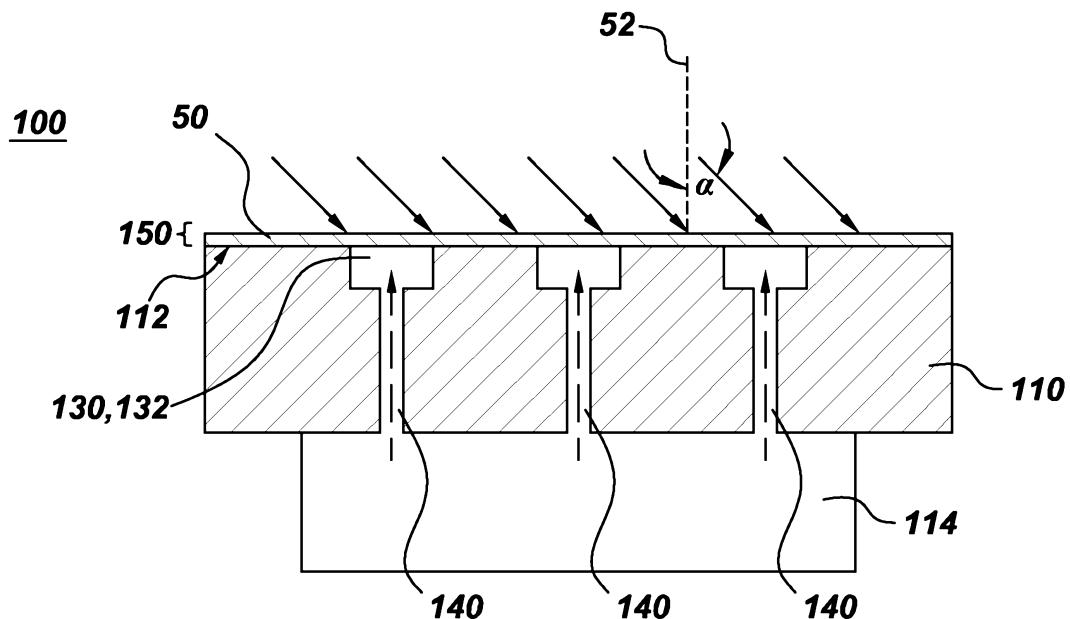


FIG. 3

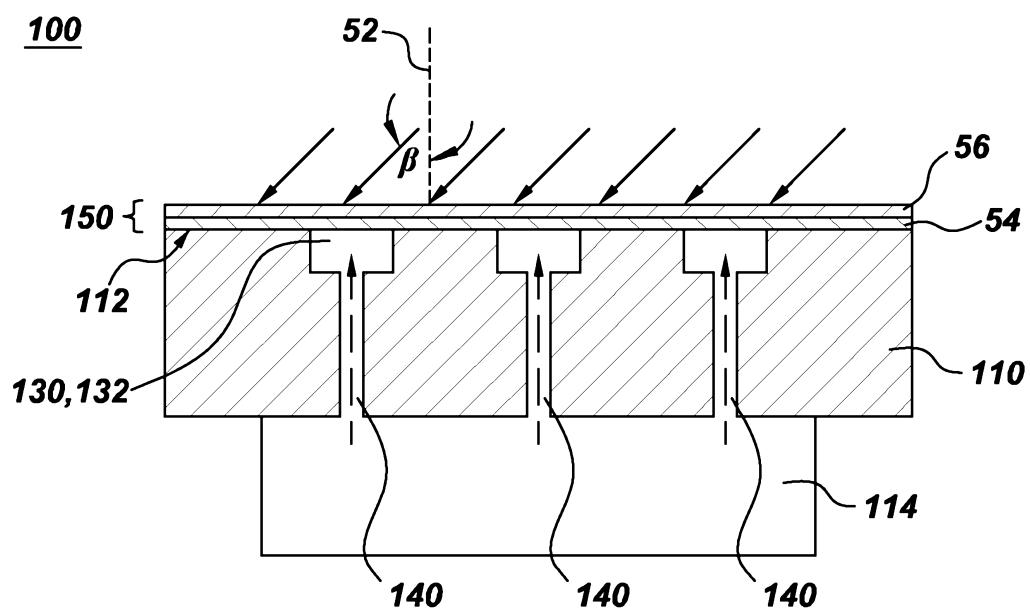


FIG. 4

3/5

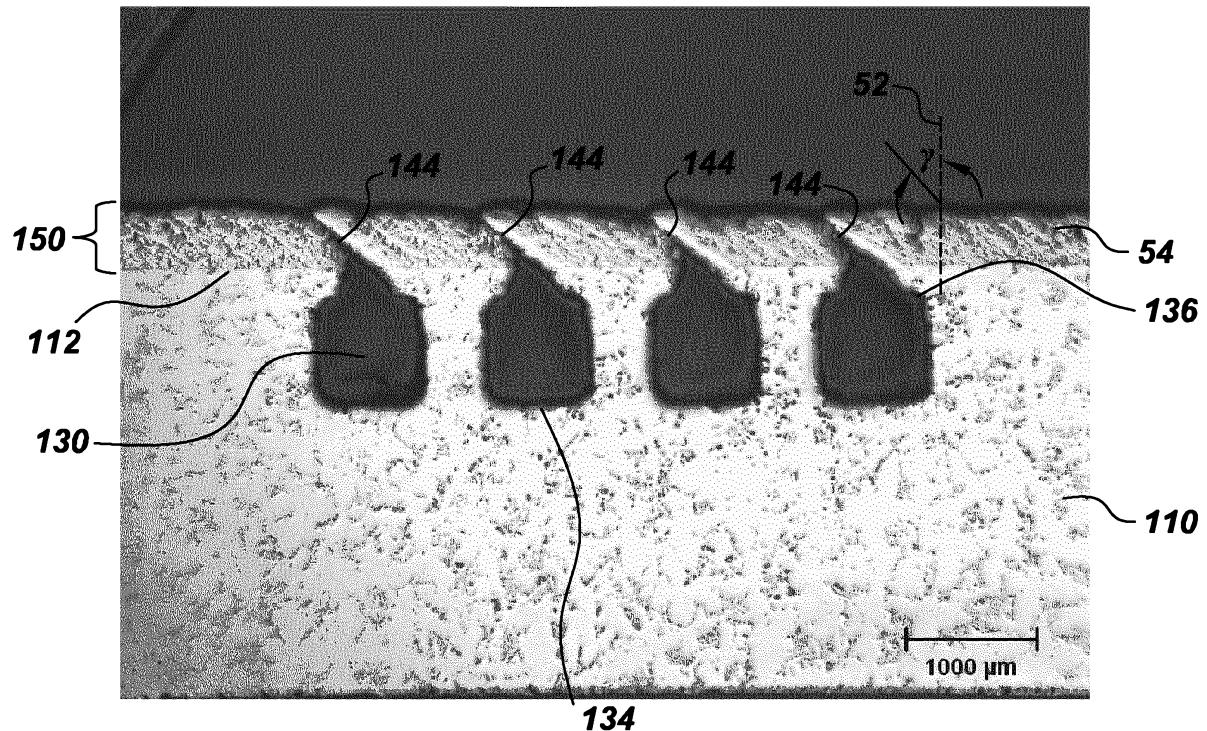


FIG. 5

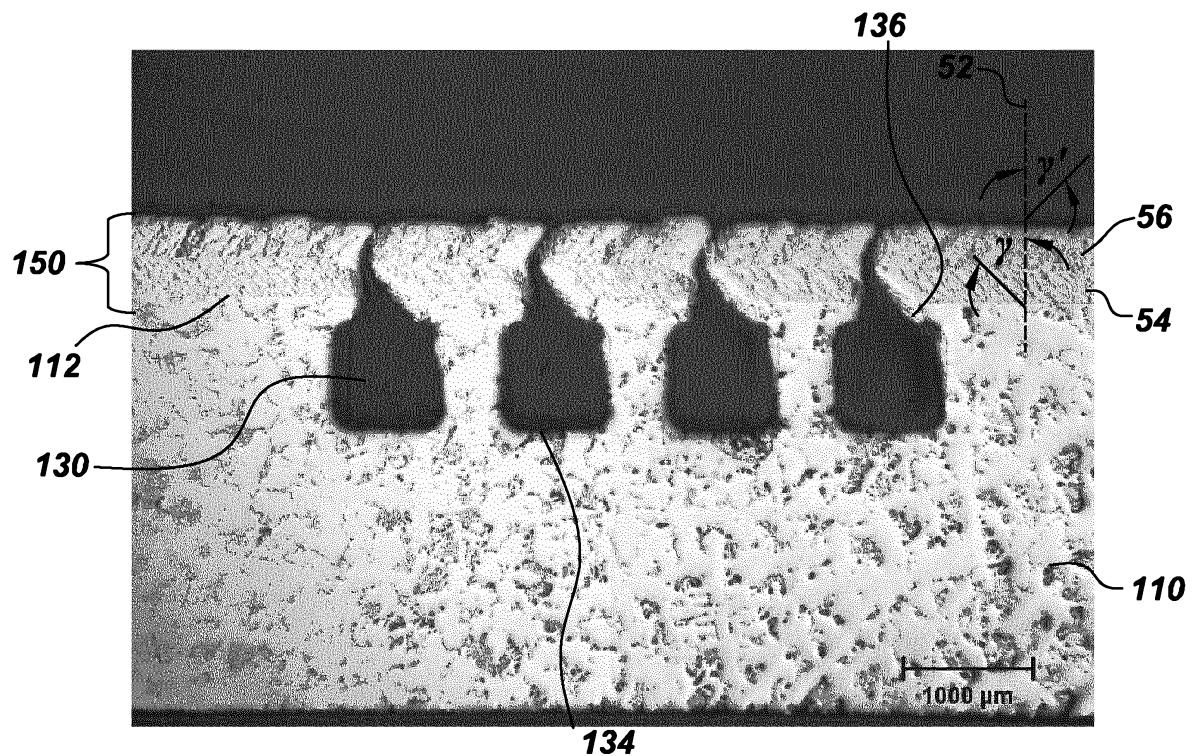


FIG. 6

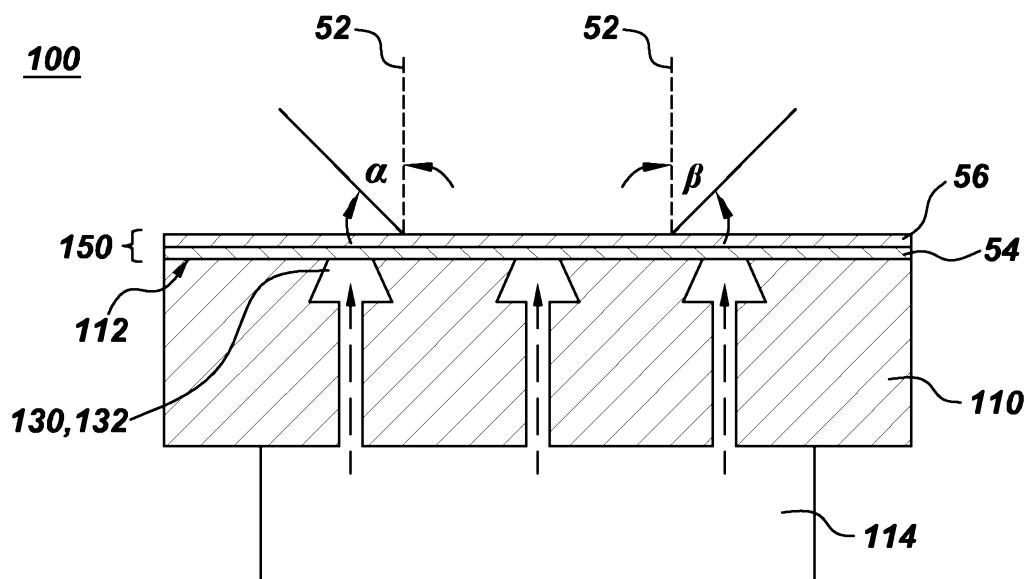


FIG. 7

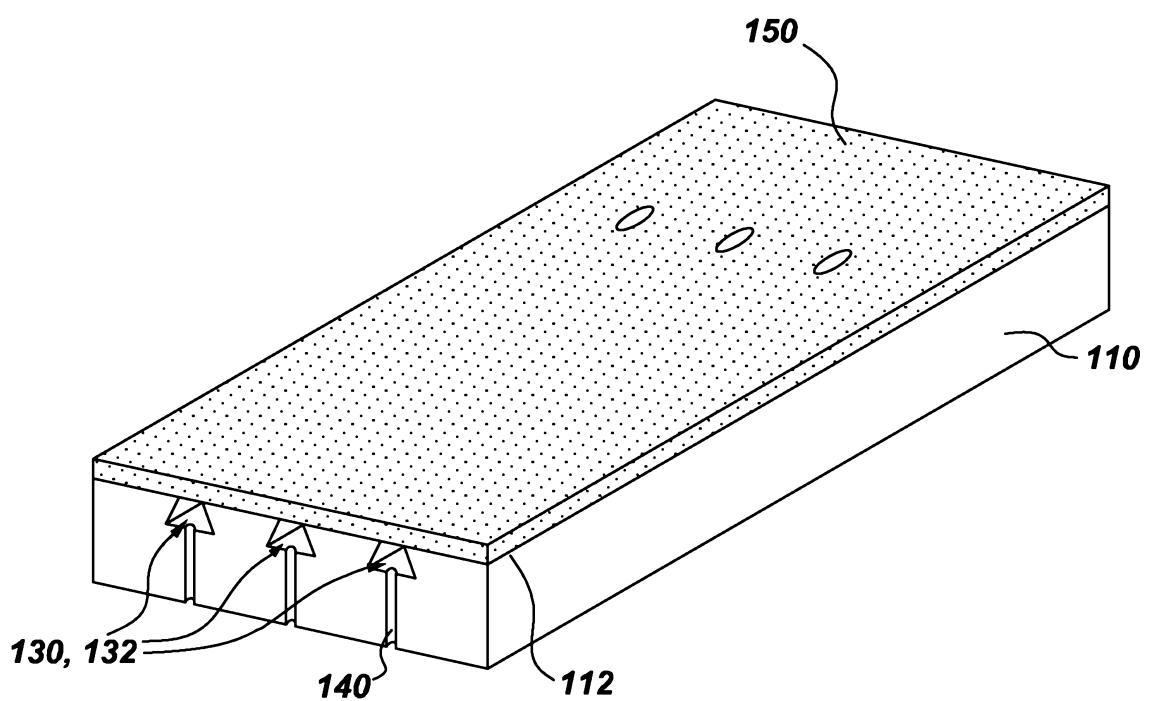


FIG. 8

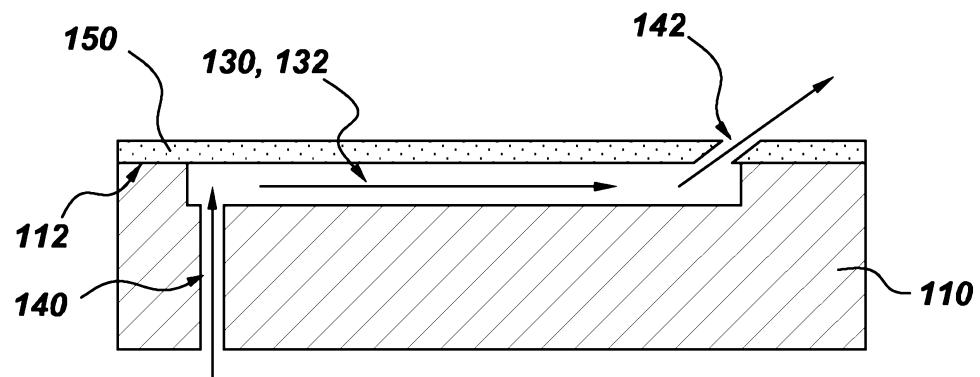


FIG. 9

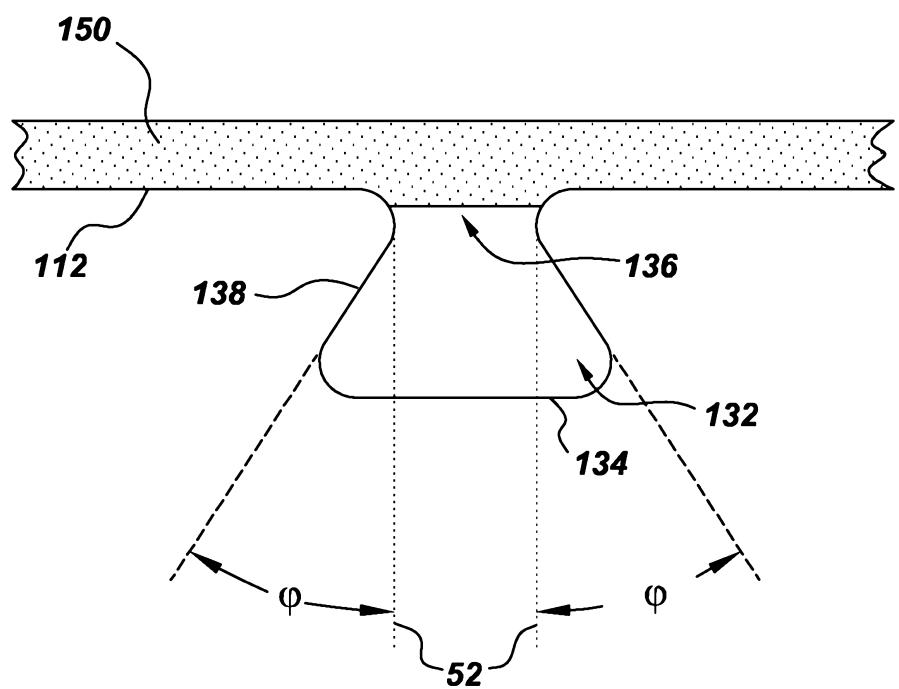


FIG. 10

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.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'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

[x] Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

□ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] 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 CITES DANS LE PRESENT 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.

[x] Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

[x] 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**

EP 1 091 090 A2 (General Electric Company [US]) 11 avril 2001 (20010411)

US 7 766 617 B1 (Liang [US]) 3 août 2010 (20100803)

US 6 582 194 B1 (Birkner et al [DE]) 24 juin 2003 (20030624)

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

EP 1 375 825 A1 (General Electric Company [US]) 2 janvier 2004 (20040102)

US 7 488 156 B2 (Liang [US]) 10 février 2009 (20090210)

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

NEANT