

EXAMEN EUROPÉEN DE QUALIFICATION 2021

Épreuve A

Cette épreuve contient :

- | | |
|-------------------------|-----------------|
| * Lettre du demandeur | 2021/A/FR/1-7 |
| * Dessins de la demande | 2021/A/FR/8-9 |
| * Document D1 | 2021/A/FR/10-12 |
| * Document D2 | 2021/A/FR/13-14 |

Lettre du demandeur

Generate Ltd.
Parsons Green
Royaume-Uni

5

Chère Madame Laval,

[001] Notre entreprise a été récemment fondée dans le but de développer et de
10 fabriquer des pièces qui sont utilisées dans des moteurs à turbine à gaz. Nous avons
l'intention de présenter notre gamme de produits la plus récente lors d'un salon
commercial en Afrique du Sud demain et souhaitons nous assurer que la technologie
pertinente est protégée par une demande de brevet. Un client potentiel nous a invités
15 pour le restant de la journée à un safari dans une zone sans couverture mobile, et nous
ne serons donc pas disponibles pour répondre à des questions. J'ai joint à la présente
lettre toutes les informations nécessaires dont vous aurez besoin pour rédiger la
demande de brevet, ainsi que deux documents, D1 et D2, qui peuvent présenter un
intérêt. Veuillez noter que notre entreprise a pour politique de ne pas payer de taxes de
revendications supplémentaires.

20

[002] Une turbine à gaz classique, comme celle utilisée dans des moteurs d'aéronefs, se
compose de trois étages. Le premier étage est un compresseur dans lequel l'air est
comprimé à une pression élevée. Le deuxième étage est la zone de combustion, dans
laquelle l'air à haute pression et le combustible sont mélangés et s'enflamment. Le
25 troisième étage est la section d'échappement et utilise l'énergie des gaz d'échappement
chauds provenant de la zone de combustion, pour propulser l'aéronef et pour fournir
l'énergie dont le compresseur a besoin.

[003] L'efficacité d'une turbine à gaz est améliorée lorsque la température dans la zone de combustion est la plus élevée possible. La zone de combustion doit par conséquent être construite dans des matériaux à même de résister à ces températures élevées. Les pièces de moteur utilisés dans la zone de combustion sont généralement réalisées dans des superalliages (une catégorie bien connue d'alliages de cobalt et de nickel spécialement adaptés à une utilisation à des températures élevées). Cependant, les turbines à gaz modernes sont destinées à fonctionner avec une zone de combustion dont la température s'élève à au moins 1 600°C, un chiffre supérieur au point de fusion des superalliages. Il est donc nécessaire de protéger le superalliage contre de telles hautes températures. Une approche consiste à utiliser une couche thermiquement isolante d'oxyde céramique, souvent réalisée en oxyde de zirconium. Une autre approche, utilisée uniquement pour les aubes de turbine, consiste à ménager des ouvertures dans la pièce concernée et à refroidir celui-ci au moyen de l'air qui circule par les ouvertures. Ce type de refroidissement à air peut refroidir la pièce, mais n'est habituellement pas à lui seul suffisant.

[004] Les pièces de moteur qui sont réalisées dans un superalliage et sont revêtues d'un oxyde de zirconium sont efficaces, mais n'ont qu'une durée de vie limitée. Les coefficients de dilatation thermique des superalliages et de l'oxyde de zirconium diffèrent de manière importante. Par conséquent, lorsqu'une pièce de moteur dotée d'un revêtement qui est réalisée dans un superalliage chauffe, le superalliage se dilate dans une proportion qui diffère de celle du revêtement. Cela entraîne des contraintes au niveau de l'interface entre le superalliage et le revêtement, et des parties du revêtement finissent par se détacher. Il est alors nécessaire de remplacer la pièce. Une solution connue à ce problème consiste à utiliser, entre l'oxyde céramique et le superalliage, une couche d'adhésion qui contient du nickel et/ou du cobalt et, de 10 à 50 % en poids, de l'aluminium. Une pièce de moteur dotée d'un revêtement sur laquelle ce type de revêtement amélioré a été posé, est présentée dans le document D1. La durée de vie des pièces décrites dans le document D1 est améliorée, mais d'autres améliorations sont nécessaires.

[005] Nous avons maintenant développé un nouveau type de pièce de moteur dotée d'un revêtement, dans lequel un substrat en superalliage est recouvert d'une couche d'oxyde céramique qui présente une microstructure colonnaire. Les espaces entre les colonnes permettent au revêtement de se déformer lorsque le substrat et l'oxyde
5 céramique se dilatent sous l'effet de la chaleur, et cela génère beaucoup moins de contraintes. Pour produire cet effet, les colonnes doivent être orientées essentiellement de manière perpendiculaire à la surface. Une colonne est considérée comme étant essentiellement perpendiculaire si l'angle entre la colonne et la surface du substrat se situe entre 75 et 105°. Ce nouveau type de pièce de moteur dotée d'un revêtement peut
10 être réalisé en utilisant la couche d'adhésion connue et la couche d'oxyde céramique connue, en oxyde de zirconium. Dans ce cas la durée de vie de la pièce dotée du revêtement augmentera de manière importante. Il est également possible d'omettre la couche d'adhésion et de déposer l'oxyde céramique directement sur la pièce. Une telle pièce aura une durée de vie similaire à celle des pièces enseignées par le
15 document D1, mais pèsera moins, ce qui constitue un avantage important si la pièce est destinée à être utilisée dans des moteurs d'aéronefs. On a constaté de manière surprenante que la couche d'oxyde céramique présentant une microstructure colonnaire protège les superalliages contre les hautes températures d'une manière aussi efficace que les couches d'oxyde céramique traditionnelles.

20
[006] Le type d'oxyde céramique utilisé n'est pas crucial et peut être sélectionné dans la catégorie des matériaux à base d'oxyde céramique divulgués dans le document D1. Parmi ces matériaux figurent par exemple l'oxyde de zirconium, l'oxyde d'aluminium ou l'oxyde de titane. La couche d'oxyde céramique a de préférence une épaisseur d'au
25 moins 25 micromètres, l'isolation thermique étant autrement insuffisante. L'épaisseur ne dépasse habituellement pas 2 millimètres. L'épaisseur est de préférence de 2 millimètres au maximum, afin que le poids de la pièce ne soit pas trop élevé. La couche d'adhésion est réalisée dans des matériaux décrits dans le document D1 et a généralement une épaisseur de 10 à 200 micromètres.

[007] Les figures suivantes illustrent l'invention :

La Fig. 1 montre une coupe transversale d'une pièce dotée d'un revêtement qui est obtenu par évaporation par faisceau d'électrons.

La Fig. 2 montre une coupe transversale d'une pièce dotée d'un revêtement qui est
5 obtenu par pulvérisation et qui est traité ensuite au laser.

La Fig. 3 montre une aube de turbine présentant des ouvertures de refroidissement.

[008] L'un des inventeurs a réalisé une étude sur les propriétés thermiques d'une pièce
de moteur qui provenait d'une partie chaude d'un moteur de bus, et qui consistait en un
10 métal revêtu d'un oxyde céramique, à savoir de l'aluminium revêtu d'une couche d'oxyde
d'aluminium dont l'épaisseur était de 30 micromètres. La couche d'oxyde d'aluminium
utilisée présentait une microstructure colonnaire dans laquelle les colonnes étaient
perpendiculaires à la surface de la pièce de moteur. L'inventeur a mis en évidence des
propriétés qui, selon lui, pourraient être utiles pour les pièces de turbines. L'aluminium
15 proprement dit ne résiste pas à la zone de combustion des turbines, même s'il est doté
d'un revêtement. De plus, l'anodisation, la méthode utilisée pour réaliser la structure
colonnaire dans cette étude, ne permet pas de former des revêtements colonnaires sur
d'autres métaux. Une méthode différente de dépôt de revêtement était donc nécessaire.
Les inventeurs ont exploré la voie de l'évaporation par faisceau d'électrons, une
20 technique de revêtement enseignée par le document D2. Ils ont mis en évidence les
conditions qui étaient nécessaires pour le dépôt, sur une pièce de moteur réalisée dans
un superalliage, d'une couche utile, thermiquement isolante, d'oxyde céramique, qui
présente une microstructure colonnaire.

[009] L'évaporation par faisceau d'électrons est une méthode connue de dépôt de couches d'oxyde céramique sur des pièces. L'évaporation des oxydes céramiques à l'aide d'un plasma est également connue.

Des appareils convenables sont commercialisés. Voir par exemple le document D2.

5 Pour revêtir une pièce en superalliage avec du matériau évaporé, il faut d'abord fixer la pièce à un support et la placer dans une chambre à vide avec une source d'oxyde céramique et, si nécessaire, une source pour la couche d'adhésion. La chambre à vide doit ensuite être mise sous vide. Un procédé classique consiste à faire tourner de manière continue la pièce à l'intérieur de la chambre à vide mise sous vide, puis à
10 chauffer la pièce à la température à laquelle le matériau évaporé sera déposé. Le matériau pour la couche d'adhésion, si celle-ci est utilisée, est évaporé et se dépose sur la pièce, ce qui se produit, pour la couche d'adhésion, habituellement à une température de 800-900°C. L'oxyde céramique est ensuite déposé sur la couche d'adhésion, ou directement sur la pièce en l'absence de couche d'adhésion. Nous avons établi que pour
15 un procédé d'évaporation une structure colonnaire n'est obtenue que si un faisceau d'électrons est utilisé pour évaporer l'oxyde céramique et que si la température de la pièce pendant le dépôt de l'oxyde céramique est de 920-1050°C. Lorsque l'oxyde céramique est l'oxyde de zirconium, une température de 950-1000 °C est nécessaire.

20 [010] Une coupe transversale d'un revêtement préférentiel, formé à l'aide de la méthode ci-dessus, est présentée dans la Fig. 1. La pièce 10 comprend un substrat 11 réalisé dans un superalliage, une couche d'adhésion 12 et une couche d'oxyde céramique 13. La couche d'oxyde céramique a une structure colonnaire, avec les colonnes 14a, 14b, 14c et les espaces 15a, 15b entre les colonnes.

25

[011] Nous avons également découvert une méthode supplémentaire qui peut être utilisée pour réaliser les pièces dotées d'un revêtement selon l'invention. Conformément à cette méthode, un revêtement traditionnel est réalisé, par exemple, à l'aide de la méthode décrite dans le document D1 et il est procédé ensuite à l'usinage du revêtement, de préférence au laser, afin de former les colonnes dans la couche d'oxyde 5
céramique. La couche d'oxyde céramique et la couche d'adhésion, si celle-ci est présente, sont de préférence déposées toutes deux par pulvérisation au plasma, et un laser est utilisé pour former la structure colonnaire. L'avantage de cette méthode réside dans le fait qu'un appareil traditionnel de dépôt de revêtements peut être employé.

10
[012] Une coupe transversale d'un revêtement réalisé selon cette méthode est présentée dans la Fig. 2. Dans cette figure, la pièce 20 dotée d'un revêtement inclut un substrat en superalliage 21, une couche d'adhésion 22 et une couche d'oxyde céramique 23. Les colonnes 24a, 24b et un espace 25 entre les colonnes sont également représentés. Les colonnes individuelles du revêtement selon ce mode de 15
réalisation consistent en un empilement de grains d'oxyde céramique aplatis 26a, 26b, 26c, résultant de la pulvérisation au plasma utilisée pour réaliser le revêtement. La durée de vie du revêtement posé à l'aide de cette méthode est améliorée par rapport aux revêtements connus, mais n'est pas aussi bonne que la durée de vie des 20
revêtements réalisés au moyen de l'évaporation par faisceau d'électrons.

[013] La pièce de moteur dotée d'un revêtement selon l'invention peut être une pièce de turbine, comme une aube de turbine ou un habillage d'une chambre de combustion. Les pièces de moteur dotées d'un revêtement selon l'invention peuvent également être 25
des éléments de pompe utilisés dans des moteurs de fusée, ou d'autres pièces de moteur qui sont utilisées à des températures très élevées, par exemple l'habillage de la section d'échappement d'un moteur à turbine à gaz. Les pièces avec un oxyde céramique ayant une microstructure colonnaire ne peuvent pas être utilisées dans des domaines techniques autres que des pièces pour moteurs avec une zone de 30
combustion dont la température atteint au moins 1 600°C.

[014] Un mode de réalisation particulièrement préférentiel de l'invention consiste à combiner le revêtement inventif et le refroidissement à air. Le refroidissement à air dans les aubes de turbine est obtenu en donnant une forme creuse à l'aube de turbine, l'air de refroidissement passant de la partie centrale creuse de l'aube de turbine à sa surface

5 extérieure par des ouvertures ménagées dans les parois et le revêtement éventuellement présent. La Fig. 3 représente une aube de turbine 30 pourvue des ouvertures de refroidissement 31a, 31b, 31c. La méthode la plus pratique pour mettre en œuvre ce mode de réalisation est la deuxième méthode, étant donné que le laser utilisé pour créer la structure colonnaire peut également être employé pour percer à la

10 fois le revêtement et les parois de l'aube de turbine de manière à réaliser les ouvertures de refroidissement.

Veillez agréer, Madame, mes salutations distinguées.

Alexandre Burdin

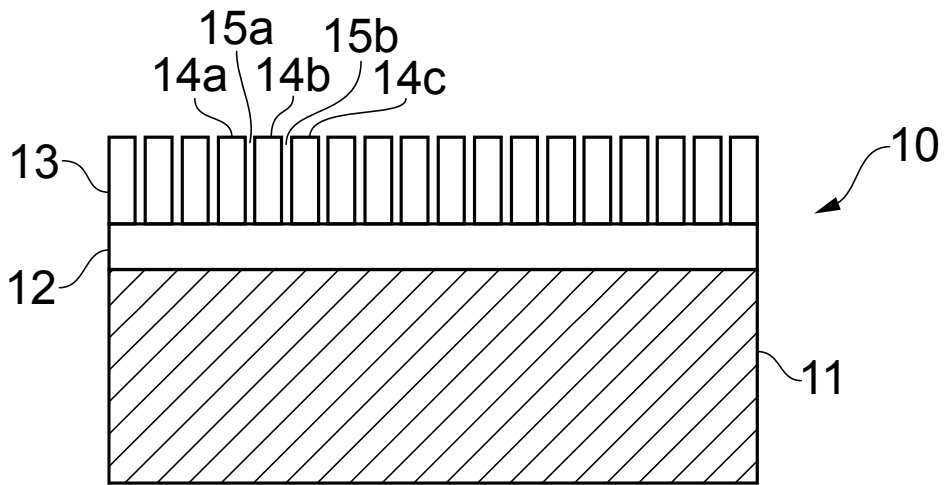


FIG. 1

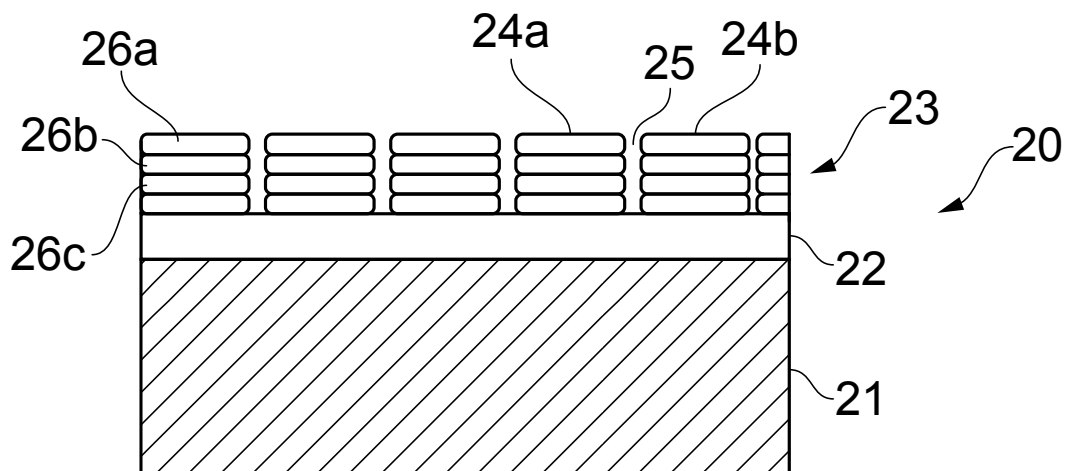


FIG. 2

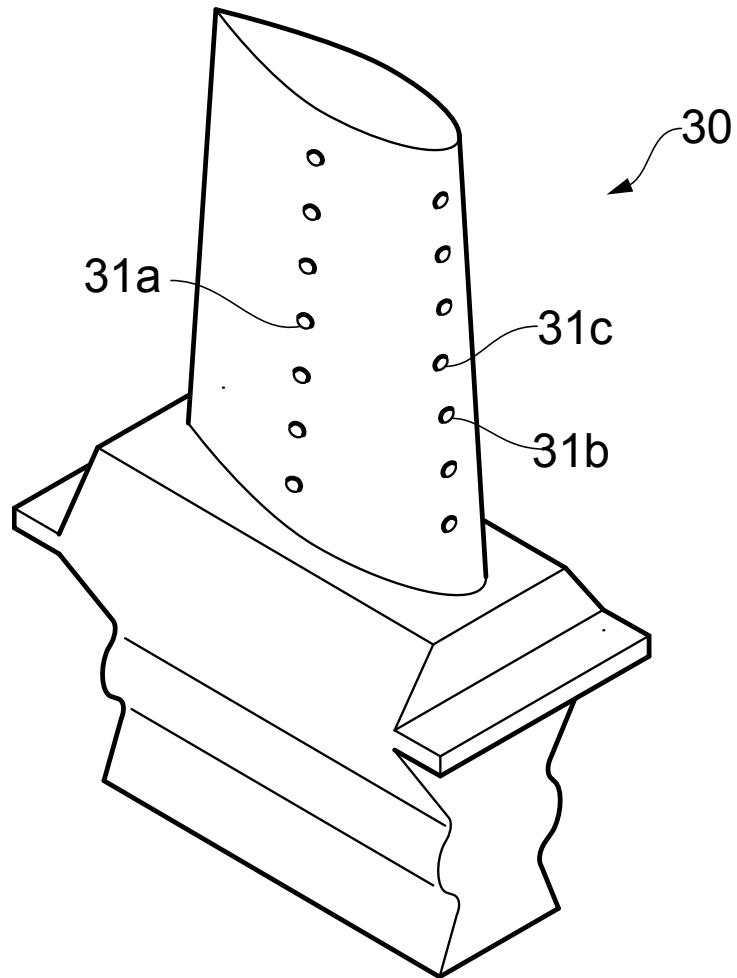


FIG. 3

Document D1

Demande de brevet EP-A 5 000 002, en date du 1^{er} mars 2014

Aube de turbine dotée d'un revêtement, ayant une durée de vie prolongée

5

[001] Les aubes de turbine utilisées dans les parties les plus chaudes des moteurs à turbine sont réalisées en superalliages. La surface de l'aube est généralement revêtue d'un oxyde céramique qui la protège contre les températures élevées qui sont présentes dans le moteur.

10

[002] Le terme "oxyde céramique" est utilisé par différents fabricants de turbines pour désigner différents groupes de matériaux. Dans la présente demande de brevet, le terme désigne les oxydes de métaux dont la température de fusion est supérieure à 1 600°C. Cette température est la température de fonctionnement minimum pour la zone de combustion de moteurs à turbine modernes. Les oxydes de métaux qui ont une température de fusion inférieure ne peuvent pas offrir une isolation thermique suffisante. L'oxyde céramique le plus couramment utilisé est l'oxyde de zirconium, mais l'oxyde d'aluminium et les oxydes ayant une structure pyrochlore sont également efficaces. Les aubes de turbine dotées d'un revêtement sont disponibles depuis un certain nombre d'années. Il a été établi que les pièces devraient être remplacées plus souvent que prévu, parce que le revêtement s'écaillait. On pense que cela est dû à la différence entre le coefficient de dilatation thermique du revêtement et celui du superalliage. Cette différence entraîne des contraintes au moment où la pièce chauffe puis refroidit à nouveau, et elle peut conduire à la perte du revêtement au bout d'un certain nombre de

15

20

25

[003] L'invention porte sur des nouveaux types d'aubes de turbine revêtues. L'aube de turbine selon l'invention est d'abord revêtue d'une couche de matériau ayant un coefficient de dilatation thermique dont la valeur est comprise entre celle du superalliage dans lequel l'aube de turbine est réalisée, et celle de l'oxyde céramique. Cette couche
5 d'adhésion intermédiaire est composée d'un alliage de nickel ou de cobalt. Un alliage de nickel est de préférence utilisé si le substrat en superalliage est également à base de nickel. L'alliage contient en outre, de 10 à 50 % en poids, d'aluminium et jusqu'à 25 % en poids, de chrome et/ou d'yttrium. L'aube de turbine est ensuite revêtue d'un revêtement en oxyde céramique traditionnel, ayant une épaisseur d'au moins 25
10 micromètres.

[004] Le revêtement d'adhésion et l'oxyde céramique sont de préférence appliqués tous deux par pulvérisation au plasma. Cette technique produit une structure de revêtement uniforme, consistant en des grains aplatis du matériau de revêtement et présentant une
15 certaine porosité. L'uniformité de la structure est jugée avantageuse. Si cela est souhaité, la surface de la pièce peut être fondue au laser, ce qui produit une surface mieux à même de résister à l'érosion.

[005] La structure du revêtement est représentée sur la Fig. 1, qui montre une coupe
20 transversale d'une aube de turbine. L'aube de turbine comprend un substrat en superalliage 10, une couche d'adhésion intermédiaire 20 et une couche extérieure d'un oxyde céramique 30. Dans une série d'essais, une aube de turbine ayant un revêtement avec une couche intermédiaire a une durée de vie de 40 % accrue par rapport à une aube de turbine revêtue dépourvue de la couche intermédiaire.

25 Revendications

1. Aube de turbine comprenant un substrat en superalliage, une couche d'adhésion sur la surface du substrat et une couche d'oxyde céramique sur la surface de la couche d'adhésion.
2. Aube de turbine selon la revendication 1, dans laquelle la couche d'adhésion est un
30 alliage de nickel ou de cobalt contenant, de 10 à 50 % en poids d'aluminium et, jusqu'à 25 % en poids, de chrome ou d'yttrium.

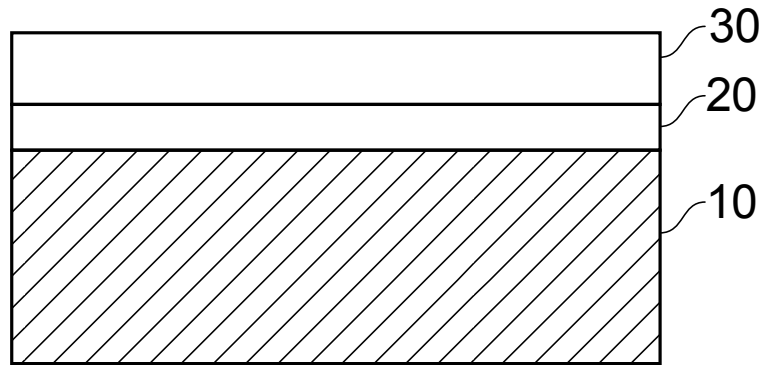


FIG. 1

Document D2

Catalogue commercial, daté du 23 mars 2002

5 [001] ZirvapTM représente la toute dernière génération d'appareils flexibles de revêtement par évaporation par faisceau d'électrons. Cet appareil a été spécialement conçu pour le dépôt de couches d'oxydes céramiques sur des métaux. Notre chambre de revêtement brevetée est conçue de manière modulaire et le nombre de modules nécessaires dépendra de la pièce sur laquelle le revêtement est déposé.

10

[002] L'évaporation par faisceau d'électrons est une méthode très efficace pour revêtir des métaux de couches d'oxyde céramique. Dans cette technique, une cible d'oxyde céramique est traitée avec un faisceau d'électrons. Le faisceau d'électrons chauffe localement la cible à des températures supérieures à 2 000°C, ce qui conduit à

15 l'évaporation de l'oxyde céramique. La vapeur générée se dirige sur la pièce à revêtir et se condense sur la pièce relativement froide, formant la couche souhaitée. La pièce peut être en rotation ou immobile, et le module chauffant intégré peut fournir pour celle-ci des températures allant de la température ambiante jusqu'à 1 200°C. La température de la pièce détermine la microstructure de la couche. La chambre de revêtement doit

20 être sous vide en vue de l'exécution du processus, et la pression peut être modulée dans notre chambre de dépôt de revêtements. Une pression très basse est utile lorsque des vitesses élevées de dépôt de revêtement sont nécessaires. Des pressions plus élevées sont utiles lorsque de faibles vitesses de pose de revêtement sont nécessaires.

25 [003] La chambre de revêtement peut être équipée de logements pouvant accueillir jusqu'à 8 cibles de matériau de revêtement et jusqu'à 4 faisceaux d'électrons. Par conséquent, même des pièces de grande taille peuvent être rapidement revêtues d'un épais revêtement. Il est également possible de déposer un revêtement à couches multiples dans un seul appareil de revêtement.

30

[004] L'appareil de revêtement a été employé avec succès pour déposer un revêtement de sécurité sur une aube de turbine réalisée dans un superalliage. De tels revêtements de sécurité sont utilisés dans un but de protection contre les pièces contrefaites. Une couche très mince (d'environ 1 micromètre) d'oxyde de zirconium est déposée sur la

5 base de l'aube de turbine à 950°C. Ce revêtement a une microstructure colonnaire, dans laquelle les colonnes sont perpendiculaires à la surface de la pièce, des intervalles étant présents entre les colonnes. Ces intervalles peuvent être chargés avec un mélange unique d'ions de terres rares. Le client peut identifier ce mélange et, par conséquent, s'assurer de l'authenticité de la pièce. Si cela est souhaité, le revêtement

10 peut être enlevé à l'aide d'un plasma avant que la pièce soit utilisée.

[005] Contactez-nous dès aujourd'hui à l'adresse Zirvapsales@beamcoat.com et laissez-nous vous assister dans tous vos travaux de revêtement.