

(19)



(11)

EP 1 867 220 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:

25.02.2015 Bulletin 2015/09

(21) Numéro de dépôt: **06726217.0**

(22) Date de dépôt: **03.03.2006**

(51) Int Cl.:

H05H 1/42 (2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/FR2006/050193

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2006/097649 (21.09.2006 Gazette 2006/38)

(54) **PROCEDE ET DISPOSITIF POUR GENERER UN FLUX THERMIQUE CHARGE DE PARTICULES**

VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG EINES MIT PARTIKELN BELADENEN THERMISCHEN FLUSSES

METHOD AND DEVICE FOR GENERATING A THERMAL FLUX LOADED WITH PARTICLES

(84) Etats contractants désignés:

BE DE IT NL

(30) Priorité: **17.03.2005 FR 0550693**

(43) Date de publication de la demande:

19.12.2007 Bulletin 2007/51

(73) Titulaire: **Airbus Defence and Space SAS**

78130 Les Mureaux (FR)

(72) Inventeurs:

- **CONTE, Dominique**
F-33160 St Medard en Jalles (FR)

• **DONNART, Philippe**
F-33114 Le Barp (FR)

• **SAUVAGE, Nicolas**
F-33110 Le Bouscat (FR)

(74) Mandataire: **Schmit, Christian Norbert Marie et al**

SCHMIT CHRETIEN
111, cours du Médoc
33300 Bordeaux (FR)

(56) Documents cités:

DE-A1- 3 435 748 **GB-A- 1 492 860**
US-A- 5 047 612 **US-A- 5 233 153**
US-A1- 2004 013 813 **US-B1- 6 478 234**

EP 1 867 220 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour générer un flux thermique chargé de particules en vue de caractériser des matériaux soumis à des environnements thermiques sévères.

[0002] Il est connu que les engins spatiaux tels que les sondes sont soumis à des agressions diverses (micro-météorites, rayonnement ultraviolet et ionisants,...). Une source particulièrement sévère d'agressions pour la structure d'une telle sonde apparaît lors de rentrées atmosphériques. En effet, la sonde est alors soumise à des agressions thermiques abrasives liées à la présence de particules solides ou liquides dans l'atmosphère de l'astre et à la vitesse de rentrée de ces engins. Ces agressions sont notamment sensibles lors de la rentrée d'une navette spatiale dans l'atmosphère terrestre puisqu'elle dissipe son énergie cinétique lui ayant permis de rester en orbite basse par frottement avec l'air de l'atmosphère. Ces agressions thermiques abrasives surviennent également dans les systèmes de propulsion tels que les propulseurs à poudre qui présentent une part relativement importante de particules d'alumine dans leur jet.

[0003] Il est donc essentiel de pouvoir simuler ces environnements induits en laboratoire pour prédire par des essais et des simulations l'évolution du comportement de matériaux ou d'objets tels qu'un revêtement thermique destiné à devenir l'élément structural d'un bouclier de rentrée d'un véhicule spatial ou encore d'un divergent de tuyère.

[0004] Jusqu'à présent, pour caractériser des matériaux, des gaz très chauds pouvant atteindre ou dépasser 3000°C ont été mis en oeuvre sur de petits échantillons disposés de manière adéquate, par exemple en "point d'arrêt", i.e. les gaz arrivant perpendiculairement à la surface des échantillons, ou "en planche inclinée", i.e. les gaz arrivant sensiblement tangentiellement à la surface des échantillons.

[0005] Ces gaz sont typiquement générés soit par des sources du type à décharge lumineuse, soit par des sources à plasma à couplage inductif. Plus les énergies de ces sources sont importantes, plus elles peuvent fournir un gaz très chaud en grande quantité, maîtrisé et constant pour la réalisation d'essais sur des échantillons représentatifs, i.e. de grandes tailles.

[0006] Ces méthodes de simulation d'environnements extrêmes se sont révélées satisfaisantes pour développer les systèmes de lanceurs spatiaux et de sondes spatiales connus jusqu'à présent.

[0007] Néanmoins, la recherche permanente d'une optimisation des structures mises en oeuvre dans les engins spatiaux, par exemple pour l'obtention d'éléments structuraux présentant une résistance toujours plus élevée aux contraintes mécaniques et/ou thermiques pour une masse minimale, requiert un affinement de ces méthodes de simulation en vue de la caractérisation de ces structures.

[0008] En effet, les méthodes de simulation connues

ne prennent pas en compte, ou de manière non appropriée, les phénomènes d'abrasion par des particules solides ou liquides rencontrées soit sur les astres ayant des atmosphères, soit dans les propulseurs à poudre mentionnés plus hauts.

[0009] On connaît par le brevet US 3,893,335 (Johnson et al.) un dispositif pour simuler les conditions de rentrée dans une atmosphère chargée en particules. Ce dispositif fournit un flux d'air chaud généré par un plasma d'arc à une tuyère, le flux en sortie de cette tuyère étant dirigé vers l'échantillon à analyser. Pour charger ce flux en particules, des particules présentant des vitesses élevées pouvant atteindre quelques 6000 m/s sont injectées dans le flux d'air chaud en aval de cette tuyère. Cependant, ces particules sont accélérées indépendamment du flux d'air chaud à une vitesse déterminée par l'opérateur. Cette méthode de simulation requiert donc des moyens particulièrement complexes et encombrants pour accélérer les particules solides à de telles vitesses mais pose également des problèmes de mélange de deux flux de gaz très hypersoniques.

[0010] On connaît également par le document "Mars entry simulation with dust using an inductively heated generator", 22nd Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference, 2002, AIAA 2002-3237; un dispositif de simulation utilisant une source de plasma à couplage inductif ("Inductively coupled plasma" - ICP) reliée à une enceinte sous vide évacuée par une unité de pompage. L'injection des particules solides dans le flux gazeux est réalisée avant la source de plasma ICP, dans le gaz porteur du plasma. Cette méthode s'avère donc extrêmement défavorable puisqu'elle entraîne non seulement une usure accélérée du dispositif mais elle altère également la qualité du jet gazeux chargé en particules. En effet, les produits d'abrasion résultant de l'interaction entre le plasma chargé en particules solides et les parois internes de l'enceinte polluent le jet gazeux.

De plus, les particules sont injectées dans le plasma sans action particulière pour rendre ce flux gazeux chargé en particules représentatif en terme de température et de vitesse, ces dernières étant des paramètres importants pour simuler des phénomènes d'abrasion.

[0011] Le document DE 3435748 A1 décrit un système d'injection de particules dans un jet de plasma dirigé sur un objet à revêtir.

[0012] Aussi, la présente invention propose un procédé et un dispositif pour générer un flux thermique chargé de particules simples dans leur conception et dans leur mode opératoire pour simuler de manière maîtrisée les flux thermiques chargés de particules représentatifs des propulseurs à poudre ou des rentrées planétaires en vue de la caractérisation d'échantillons de taille standard destinés au domaine spatial et/ou aéronautique.

[0013] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé pour générer un flux thermique chargé de particules, ces particules étant au moins partiellement dirigées sur un objet, dans lequel on injecte un gaz porteur et des parti-

cules à partir d'au moins un injecteur de particules ayant au moins un orifice de sortie, dans un jet de plasma dirigé depuis l'extrémité d'une source de plasma vers l'extérieur le long d'un axe principal, ce jet de plasma ayant un coeur.

[0014] Selon l'invention, on ajuste les positions axiale et radiale de cet injecteur de particules par rapport à l'axe principal et l'inclinaison de cet injecteur par rapport à un axe perpendiculaire à l'axe principal, et on contrôle la quantité de mouvement moyenne des particules à l'orifice de sortie de l'injecteur pour entraîner de manière homogène les particules dans le coeur du jet de plasma de sorte que lesdites particules acquièrent à une distance variable D de l'extrémité de la source de plasma une vitesse moyenne maximale, et

- on détermine cette distance D de l'extrémité de la source de plasma et on positionne l'objet à environ cette distance D.

[0015] Il est nécessaire de s'assurer de la caractérisation des objets dans les conditions les plus proches possibles des environnements réels auxquels seront soumis ces objets. A titre d'exemple, les vitesses des particules dans les jets propulsifs de fusées à ergols solides peuvent atteindre de 1000 m/s à 3000 m/s. Dans cet objectif, l'objet à caractériser est positionné dans le jet de plasma chargé en particules, dans les environs de l'endroit où la vitesse moyenne des particules est maximale, cette vitesse étant ajustable. On s'assure ainsi que l'échantillon est placé à un endroit où les particules ont acquis une vitesse moyenne suffisante pour la caractérisation.

[0016] Le but de l'invention est donc atteint d'une part, en réglant la quantité de mouvement des particules à l'orifice de sortie d'au moins un injecteur et en contrôlant la position dudit orifice de sortie pour rendre le jet de plasma chargé de particules le plus homogène possible, et d'autre part, en déterminant la position D, variable le long de l'axe principal, où les particules acquièrent une vitesse moyenne maximale de manière à positionner l'objet à caractériser aux environs de cet endroit.

[0017] Dans différents modes de réalisation du procédé pour générer un flux thermique chargé de particules, la présente invention concerne également les caractéristiques suivantes qui devront être considérées isolément ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles :

- on mesure la vitesse moyenne maximale des particules et on ajuste la vitesse du jet de plasma à une valeur de vitesse déterminée,
- on détermine la trajectoire moyenne des particules de l'orifice de sortie de l'injecteur et dans le jet de plasma en utilisant un premier détecteur optique de manière à ajuster la position et l'inclinaison de cet injecteur et pour ajuster la quantité de mouvement moyenne des particules à la sortie de l'injecteur de particules,

- on mesure la vitesse moyenne de chaque particule en illuminant cette particule à au moins trois instants différents en utilisant une source de lumière générant des pulses de lumière, et en détectant sur une seule image la lumière réfléchie correspondante en utilisant un deuxième détecteur optique, le deuxième détecteur optique et la source de lumière étant synchronisés.

[0018] L'invention concerne également un dispositif pour générer un flux thermique chargé de particules comprenant:

- une source de plasma comprenant une extrémité de source de plasma ayant un axe principal le long duquel est dirigé un jet de plasma vers l'extérieur,
- au moins un injecteur de particules ayant au moins un orifice de sortie, ledit injecteur de particules étant destiné à injecter un gaz porteur et des particules dans le jet de plasma.

[0019] Selon l'invention, ce dispositif comprend:

- un support déplaçable dans deux directions pour positionner axialement et radialement ledit injecteur par rapport audit axe principal et des moyens d'inclinaison pour contrôler la position angulaire dudit injecteur par rapport à un axe perpendiculaire audit axe principal,
- un premier détecteur optique et des moyens de visualisation pour détecter la trajectoire moyenne des particules depuis la sortie de l'injecteur et dans le jet de plasma, et
- des moyens pour déterminer la vitesse moyenne desdites particules.

[0020] Dans différents modes de réalisation du dispositif pour générer un flux thermique chargé de particules, la présente invention concerne également les caractéristiques suivantes qui devront être considérées isolément ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles :

- les particules sont choisies dans le groupe comprenant Al_2O_3 , SiO_2 , $FeOH$, Fe_3O_4 et des combinaisons de celles-ci,
- l'injecteur comprend un régulateur de débit pour contrôler le flux du gaz porteur utilisé pour injecter les particules de manière à contrôler la quantité de mouvement moyenne de ces particules à la sortie de l'injecteur,
- la taille des particules est comprise entre environ 20 et 40 micromètres,
- la concentration de particules est comprise entre environ 0,001 et 40 pourcent en masse du jet de plasma,
- la concentration de particules est comprise entre environ 20 et 40 pourcent en masse du jet de plasma.

[0021] Dans différents modes de réalisation possibles, l'invention sera décrite plus en détail en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement le dispositif pour générer un flux chargé de particules selon un mode de réalisation de l'invention;
- la figure 2 est une représentation schématique du dispositif pour générer un flux chargé de particules selon un autre mode de réalisation de l'invention;
- la figure 3 montre schématiquement les trajectoires moyennes suivies par les particules en fonction du courant d'arc associé à un débit volumique d'air pour un mode de mise en oeuvre particulier de l'invention;
- la figure 4 montre schématiquement la distribution des vitesses moyennes des particules (m/s) le long de l'axe principal en fonction du courant d'Arc appliqué (A), la distance sur l'axe des x étant mesurée depuis l'extrémité de la source à plasma (en mm).

[0022] La Figure 1 montre un dispositif pour générer un flux thermique chargé de particules selon un mode de réalisation de l'invention. Ce dispositif comprend une source de plasma 1 comportant une extrémité de source ayant un axe principal 2. La source de plasma 1 est avantageusement une torche plasma. Dans ce mode de réalisation particulier, la torche à plasma est une torche à plasma AQTIL commercialisée par EADS ST. Cette torche de forte puissance comporte deux électrodes tubulaires coaxiales en cuivre entre lesquelles le gaz plasma est injecté avec une vitesse tangentielle importante. Les électrodes sont refroidies à l'eau. Cette torche peut fonctionner avantageusement de façon stable dans une large gamme d'intensité de courant et de débits d'air.

[0023] La source de plasma 1 produit un jet de plasma 3 dirigé vers l'extérieur le long de cet axe principal 2. Un échantillon 4 placé le long de cet axe principal 2 reçoit le jet de plasma 3.

[0024] Le dispositif comprend au moins un injecteur de particules 5 ayant au moins un orifice de sortie 6. Cet injecteur de particules 5 est destiné à injecter un gaz porteur et des particules dans le jet de plasma au niveau de la sortie de la source de plasma 1. Le gaz porteur des particules est utilisé pour entraîner et permettre la pénétration des particules dans le jet de plasma 3. Le débit du gaz porteur est fixé en fonction de la nature des particules, de sa distribution granulométrique mais aussi de la puissance dissipée dans le jet de plasma 3. Cependant ce débit reste très faible comparé au débit du jet de plasma 3 de sorte que la perturbation générée par la pénétration des particules est négligeable. A titre illustratif, pour un débit volumique d'air compris entre 1500 et 8000 l/min, le débit volumique du gaz porteur est de moins de 20 l/min. Dans un mode de réalisation préférentiel, le dispositif comprend plusieurs injecteurs 5 distribués de manière homogène autour du jet de plasma 3. Le nombre d'injecteurs 5 est avantageusement compris entre 2 et 8.

[0025] L'injecteur 5 peut comprendre un régulateur de

débit pour contrôler le flux du gaz porteur utilisé pour injecter les particules de manière à contrôler la quantité de mouvement moyenne de ces particules en sortie de l'injecteur 5.

[0026] Un support 8 déplaçable dans deux directions permet de positionner axialement et radialement l'injecteur 5 par rapport à l'axe principal 2 de l'extrémité de la source de plasma 1 et des moyens d'inclinaison permettent de contrôler sa position angulaire par rapport à un axe perpendiculaire 7 à l'axe principal 2 (Figure 2). Le support 8 est, par exemple, un bras monté sur une table de déplacement dans un plan x-y parallèle à l'axe principal 2. Il permet également d'ajuster la position de l'orifice de sortie 6 de cet injecteur 5 le long de l'axe perpendiculaire 7 à l'axe principal 2. Le déplacement de ce bras peut être motorisé ou non. Les moyens d'inclinaison de l'injecteur permettent d'incliner celui-ci d'un angle compris entre 0° et 90° vers l'extrémité de la source de plasma 1.

[0027] De préférence, la taille des particules est comprise entre environ 20 et 40 micromètres et leur concentration est comprise entre environ 0,001 et 40 pourcent en masse du jet de plasma. Pour simuler des jets propulsifs, la concentration de particules sera plutôt prise entre environ 20 et 40 pourcent en masse du jet de plasma.

[0028] Les particules sont avantageusement choisies dans le groupe comprenant Al_2O_3 , SiO_2 , $FeOH$, Fe_3O_4 et des combinaisons de celles-ci. Les particules Al_2O_3 et SiO_2 sont préférées dans les simulations d'un propulseur à poudre, alors que les particules de $FeOH$, Fe_3O_4 sont préférées pour des simulations d'une rentrée atmosphérique et, en particulier, d'une rentrée dans l'atmosphère Martienne. D'autres particules pourraient être mises en oeuvre pour simuler d'autres environnements.

[0029] Le dispositif comporte un premier détecteur optique 9, par exemple une caméra vidéo infrarouge et des moyens de visualisation tels qu'un écran pour détecter et visualiser la trajectoire moyenne des particules depuis l'orifice de sortie 6 de l'injecteur 5 et dans le jet de plasma 3.

[0030] De plus, le dispositif comprend des moyens pour déterminer la vitesse moyenne desdites particules. Ces moyens comprennent avantageusement une source de lumière 10 générant des pulses de lumière et un deuxième détecteur optique 11. Le deuxième détecteur optique 11 et la source de lumière 10 sont synchronisés. Préférentiellement, la source de lumière 10 est une source laser semi-conducteur et le deuxième détecteur optique 11 est une caméra rapide permettant l'enregistrement d'images à hautes vitesses. Cette caméra 11 est capable de détecter de faibles intensités lumineuses. Cette caméra 11 étant par exemple une caméra CCD ayant une matrice ligne-colonne de pixels, on affecte à chaque mesure au moins une coordonnée x représentant la distance de la particule le long de l'axe principal 2 par rapport à l'extrémité de la source de plasma 1 à un instant t.

[0031] On mesure la vitesse de chaque particule en illuminant les particules à au moins trois instants différents. La vitesse moyenne de chaque particule est alors obtenu en faisant le rapport entre la distance parcourue par la particule mesurée entre deux points de mesure par le délai séparant deux pulses successifs de la source de lumière 10. La caméra CCD reste ouverte pendant les au moins trois expositions de manière à visualiser les trois positions au moins des particules sur une seule et même image par superposition.

[0032] Les informations recueillies par ce deuxième détecteur 11 sont avantageusement utilisées avec celles du premier détecteur pour déterminer la trajectoire moyenne des particules depuis la sortie du ou des injecteurs 5 et dans le jet de plasma 3.

[0033] Le dispositif peut comprendre un porte-échantillon 12, lequel est inclinable de sorte que la surface de cet échantillon 4 forme un angle compris entre 0° et 90° par rapport à l'axe principal 2 de l'extrémité de la source de plasma 1. De préférence, ce porte-échantillon 12 est apte à recevoir des échantillons 4 de taille standard, c'est-à-dire d'une taille représentative des éléments mis en oeuvre comme éléments structuraux d'un revêtement thermique d'un engin spatial par exemple. La présente invention se prête ainsi aux essais dits en "planche inclinée", représentatifs des cotés des véhicules de rentrée ou des propulseurs quand le flux thermique est en partie tangentiel à la surface des matériaux. En "planche inclinée", on utilise de manière standard, un échantillon carré dont les dimensions minimales sont de 300 mm par 300 mm, et en "point d'arrêt", un échantillon d'un diamètre minimal de 25 mm.

[0034] La Figure 2 montre un dispositif de l'invention selon un autre mode de réalisation. Les éléments ayant les mêmes références qu'à la Figure 1 représentent les mêmes objets. Ce dispositif diffère de celui de la Figure 1, par le fait que l'extrémité de la source de plasma 1 est reliée à une enceinte sous vide 13 dans laquelle est dirigé le jet de plasma 3. Cette enceinte 13 est pompée par une unité de pompage. Cette unité de pompage comporte par exemple au moins une pompe primaire à haut débit. Sur l'enceinte 13 est montée au moins une vanne de dosage 14 reliée à un dispositif de dosage pompée par exemple par une pompe primaire, et une jauge de pression pour introduire un gaz dans cette enceinte 13 au moyen de la vanne de dosage 14 et du dispositif de dosage. Ce gaz est par exemple du CO₂. Ce dispositif comporte également un diffuseur 15 pour évacuer le jet de plasma 3. Enfin, l'injecteur 5 est positionné de façon à injecter les particules du bas vers le haut.

L'invention concerne également un procédé pour générer un flux thermique chargé de particules, les particules, étant au moins partiellement dirigées sur un objet 4. Selon ce procédé, on injecte un gaz porteur et des particules à partir d'au moins un injecteur de particules 5 ayant au moins un orifice de sortie 6 dans un jet de plasma 3. Ce jet de plasma 3 est dirigé depuis l'extrémité d'une source de plasma 1 vers l'extérieur le long d'un axe principal 2.

Ce jet de plasma 3 a un coeur.

[0035] On ajuste ensuite les positions axiale et radiale de cet injecteur de particules 5 par rapport à l'axe principal 2 et l'inclinaison de cet injecteur 5 par rapport à un axe perpendiculaire 7 audit axe principal 2 et on contrôle la quantité de mouvement moyenne des particules à l'orifice de sortie 6 de l'injecteur 5 pour entraîner de manière homogène les particules dans le coeur du jet de plasma 3. Dans un mode de réalisation, on positionne l'orifice de sortie 6 de l'injecteur 5 dans le jet de plasma 3, la température du jet de plasma 3 étant inférieure à la température de fusion du matériau constitutif de l'injecteur 5. Afin d'ajuster les positions et l'inclinaison de l'injecteur et pour ajuster la quantité de mouvement moyenne des dites particules à la sortie de cet injecteur 5, on détermine la trajectoire moyenne des particules de l'orifice de sortie 6 de l'injecteur 5 et dans le jet de plasma 3 en utilisant un premier détecteur optique 9, par exemple une caméra vidéo infrarouge.

[0036] Les particules acquièrent à une distance variable D de l'extrémité de la source de plasma 1 une vitesse moyenne maximale. On détermine alors la distance D de l'extrémité de la source de plasma 1 et on positionne l'objet 4 à caractériser à cette distance D. L'objet à caractériser peut également être positionné jusqu'à une position D' le long de l'axe principal 2, à partir de cette position D, la position D'étant telle que les particules présentent encore une vitesse approximativement égale à au moins 90% de la vitesse moyenne maximale des particules déterminée.

[0037] Avantageusement, on mesure cette vitesse moyenne maximale et on ajuste la vitesse du jet de plasma à une valeur de vitesse déterminée. Cet ajustement de la vitesse du jet de plasma 3 peut être réalisée en ajoutant une tuyère à l'extrémité de la source de plasma 1, ou en augmentant la puissance électrique de fonctionnement de la source de plasma 1, ou encore en adaptant la composition du gaz porteur générant le plasma. Dans ce dernier cas, on utilise un gaz choisi dans le groupe comprenant H₂, CO₂ et N₂.

[0038] La Figure 3 montre un mode de mise en oeuvre de l'invention pour des poudres d'alumine avec une torche plasma. L'orifice de sortie 6 de l'injecteur 5 est placé à une distance l₁ de 14 mm de l'extrémité de la torche plasma 1 le long de l'axe principal 2 et à une hauteur l₂ de 24 mm le long d'un axe perpendiculaire 7 à cet axe principal 2. L'injecteur 5 n'est pas incliné par rapport à cet axe perpendiculaire 7 à l'axe principal 2. Cette figure 2 montre les trajectoires moyennes des particules depuis la sortie de l'injecteur et dans le jet de plasma pour un gaz porteur de 6 L/min, en fonction du courant d'arc (A) mis en oeuvre pour générer la torche plasma associé à un débit volumique d'air de la torche plasma (l/min). La première courbe C₁ (croix) est obtenue pour un couple 450 A-7700 l/min, la deuxième courbe C₂ (triangle plein) est obtenue pour un couple 310 A-3400 l/min et la troisième courbe C₃ (cercle) est obtenue pour un couple 180 A-1700 l/min. Il ressort de ces courbes que les particules

ne pénètrent pas au coeur du jet de plasma pour la première courbe C₁, contrairement aux deux autres courbes C₂ et C₃ pour lesquelles les trajectoires moyennes coupent l'axe principal 2 à environ 100 mm de l'extrémité de la source de plasma 1. La quantité de mouvement du jet est trop importante comparée à celle liée à l'écoulement radial en sortie de l'injecteur.

[0039] On observe donc que pour entraîner de manière homogène les particules au coeur de l'écoulement plasma, c'est-à-dire s'assurer que l'ensemble des particules soient effectivement entraînées au centre de l'écoulement du jet de plasma, il est nécessaire non seulement d'ajuster les positions axiale et radiale de l'injecteur par rapport audit axe principal et son inclinaison par rapport à un axe perpendiculaire audit axe principal mais également de contrôler la quantité de mouvement moyenne de ces particules à l'orifice de sortie de cet injecteur.

[0040] La Figure 4 montre dans un mode de mise en oeuvre particulier la distribution des vitesses moyennes des particules le long de l'axe principal en fonction du courant d'Arc (A). L'axe des abscisses 16 qui représente la position des particules le long de l'axe principal (mm), a pour point d'origine 17 l'extrémité de la source à plasma et l'axe des ordonnées 18 représente la vitesse moyenne des particules (m/s). Les poudres utilisées sont des particules d'alumine et la source à plasma est une torche plasma AQTIL. La première courbe S₁ (losange) est obtenue pour un courant d'Arc de 450 A, la deuxième courbe S₂ (rectangle) est obtenue pour un courant d'Arc de 310 A et la troisième courbe S₃ (triangle) est obtenue pour un courant d'Arc de 180 A. Il ressort de ces courbes que les particules présentent des phases d'accélération et de décélération et que la position axiale 19 du maximum de la vitesse moyenne des particules pour un courant d'Arc donné se déplace vers l'aval de la torche avec l'augmentation du courant d'arc. La distance D de l'extrémité de la source de plasma à laquelle les particules acquièrent une vitesse moyenne maximale est donc bien variable en fonction du courant d'arc appliqué. Il est nécessaire de déterminer cette position pour la caractérisation des échantillons dans des conditions aussi réelles que possible. On observe également que la vitesse moyenne maximale des particules est approximativement quatre fois plus élevée à 450 A (420 +/- 45 m/s) qu'à 180 A (125 +/- 15 m/s). On peut donc ajuster la vitesse moyenne maximale des particules en ajustant la vitesse du jet de plasma par augmentation de la puissance électrique de fonctionnement de la source de plasma.

[0041] Avantagusement, l'invention peut être mise en oeuvre comme dispositif de pulvérisation thermique de particules pour le dépôt de revêtements, par exemple métalliques, sur une surface.

Revendications

1. Procédé pour générer un flux thermique chargé de

particules, lesdites particules étant au moins partiellement dirigées sur un objet, dans lequel on injecte un gaz porteur et des particules à partir d'au moins un injecteur de particules (5) ayant au moins un orifice de sortie (6) dans un jet de plasma (3) dirigé depuis l'extrémité d'une source de plasma (1) vers l'extérieur le long d'un axe principal (2), ledit jet de plasma (3) ayant un coeur,

caractérisé en ce qu'on ajuste les positions axiale et radiale dudit injecteur de particules (5) par rapport audit axe principal (2) et l'inclinaison dudit injecteur (5) par rapport à un axe perpendiculaire (7) audit axe principal et on contrôle la quantité de mouvement moyenne desdites particules à l'orifice de sortie (6) dudit injecteur (5) pour entraîner de manière homogène lesdites particules dans le coeur du jet de plasma (3) de sorte que lesdites particules acquièrent à une distance variable D de l'extrémité de la source de plasma (1) une vitesse moyenne maximale, et

- on détermine ladite distance D de l'extrémité de la source de plasma (1) et on positionne ledit objet à environ cette distance D.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**on mesure ladite vitesse moyenne maximale et on ajuste la vitesse du jet de plasma (3) à une valeur de vitesse déterminée.
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**on ajuste la vitesse dudit jet de plasma (3) en ajoutant une tuyère à l'extrémité de la source de plasma (1).
4. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**on ajuste la vitesse dudit jet de plasma (3) en augmentant la puissance électrique de fonctionnement de la source de plasma (1).
5. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**on ajuste la vitesse dudit jet de plasma (3) en ajoutant au gaz porteur utilisé pour générer le plasma un gaz choisi dans le groupe comprenant H₂, CO₂ et N₂.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**on détermine la trajectoire moyenne des particules de l'orifice de sortie (6) dudit injecteur (5) et dans le jet de plasma (3) en utilisant un premier détecteur optique (9) de manière à ajuster la position et l'inclinaison dudit injecteur de particules (5) et pour ajuster la quantité de mouvement moyenne desdites particules à la sortie dudit injecteur.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**on mesure la vitesse moyenne de chaque particule en illuminant ladite

particule à au moins trois instants différents en utilisant une source de lumière (10) générant des pulses de lumière, et en détectant sur une seule image la lumière réfléchiée correspondante en utilisant un deuxième détecteur (11) optique, ledit deuxième détecteur optique (11) et ladite source de lumière (10) étant synchronisés.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** la taille des particules est comprise entre environ 20 et 40 micromètres.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** la concentration de particules est comprise entre environ 0,001 et 40 pourcent en masse du jet de plasma (3).
10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** la concentration de particules est comprise entre environ 20 et 40 pourcent en masse du jet de plasma (3).
11. Dispositif pour générer un flux thermique chargé de particules comprenant:

- une source de plasma comprenant une extrémité de source de plasma (1) ayant un axe principal le long duquel est dirigé un jet de plasma (3) vers l'extérieur,
- au moins un injecteur de particules (5) ayant au moins un orifice de sortie (6), ledit injecteur de particules (5) étant destiné à injecter un gaz porteur et des particules dans le jet de plasma (3),
caractérisé en ce qu'il comprend:
 - un support déplaçable dans deux directions pour positionner axialement et radialement ledit injecteur (5) par rapport audit axe principal (2) et des moyens d'inclinaison pour contrôler la position angulaire dudit injecteur (5) par rapport à un axe perpendiculaire (7) audit axe principal (2),
 - un premier détecteur optique (9) et des moyens de visualisation pour détecter la trajectoire moyenne des particules depuis la sortie de l'injecteur (5) et dans le jet de plasma (3), et
 - des moyens pour déterminer la vitesse moyenne (10,11) desdites particules, lesdits moyens pour déterminer la vitesse moyenne desdites particules comprennent une source de lumière (10) générant des pulses de lumière et un deuxième détecteur optique (11), ledit deuxième détecteur optique (11) et ladite source de lumière (10) étant synchronisés.

12. Dispositif selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** l'extrémité de la source de plasma (1) est reliée à une enceinte (13) à vide dans lequel est di-

rigé le jet de plasma (3), ladite enceinte (13) comprenant une unité de pompage et ledit injecteur de particules (5).

- 5 13. Dispositif selon la revendication 12, **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins une vanne de dosage (14) et une jauge de pression pour introduire un gaz dans ladite enceinte (13).
- 10 14. Dispositif selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** ledit gaz est CO₂.
- 15 15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, **caractérisé en ce qu'il** comprend plusieurs injecteurs (5) distribués de manière homogène autour du jet de plasma (3).
- 20 16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, **caractérisé en ce que** lesdites particules sont choisies dans le groupe comprenant Al₂O₃, SiO₂, FeOH, Fe₃O₄ et des combinaisons de celles-ci.

25 Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung eines teilchenbeladenen Wärmestroms, wobei die Teilchen zumindest teilweise auf einen Gegenstand gerichtet sind, wobei ein Trägergas und Teilchen ausgehend von mindestens einem Teilcheninjektor (5), der mindestens eine Ausgangsöffnung (6) hat, in einen Plasmastrahl (3) eingespritzt werden, der vom Ende einer Plasmaquelle (1) entlang einer Hauptachse (2) nach außen gerichtet ist, wobei der Plasmastrahl (3) einen Kern hat,
dadurch gekennzeichnet, dass die axiale und radiale Stellung des Teilcheninjektors (5) bezüglich der Hauptachse (2) und die Neigung des Injektors (5) bezüglich einer Achse (7) lotrecht zur Hauptachse eingestellt werden und die mittlere Bewegungsgröße der Teilchen an der Ausgangsöffnung (6) des Injektors (5) gesteuert wird, um die Teilchen homogen in den Kern des Plasmastrahls (3) anzutreiben, damit die Teilchen in einem variablen Abstand D vom Ende der Plasmaquelle (1) eine maximale mittlere Geschwindigkeit erreichen, und
- der Abstand D vom Ende der Plasmaquelle (1) bestimmt und der Gegenstand in etwa diesem Abstand D positioniert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die maximale mittlere Geschwindigkeit gemessen und die Geschwindigkeit des Plasmastrahls (3) auf einen bestimmten Geschwindigkeitswert eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Geschwindigkeit des Plasmastrahls (3) eingestellt wird, indem eine Düse am Ende der Plasmaquelle (1) hinzugefügt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Geschwindigkeit des Plasmastrahls (3) eingestellt wird, indem die elektrische Betriebsleistung der Plasmaquelle (1) erhöht wird.
5. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Geschwindigkeit des Plasmastrahls (3) eingestellt wird, indem zum für die Erzeugung des Plasmas verwendeten Trägergas ein Gas hinzugefügt wird, das aus der Gruppe ausgewählt wird, die H₂, CO₂ und N₂ enthält.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mittlere Bahn der Teilchen von der Ausgangsöffnung (6) des Injektors (5) und im Plasmastrahl (3) unter Verwendung eines ersten optischen Detektors (9) bestimmt wird, um die Stellung und die Neigung des Teilcheninjektors (5) einzustellen und die mittlere Bewegungsgröße der Teilchen am Ausgang des Injektors einzustellen.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mittlere Geschwindigkeit jedes Teilchens gemessen wird, indem das Teilchen zu mindestens drei unterschiedlichen Zeitpunkten unter Verwendung einer Lichtimpulse erzeugenden Lichtquelle (10) beleuchtet wird, und indem das entsprechende reflektierte Licht unter Verwendung eines zweiten optischen Detektors (11) in einem einzigen Bild erfasst wird, wobei der zweite optische Detektor (11) und die Lichtquelle (10) synchronisiert sind.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Größe der Teilchen zwischen etwa 20 und 40 Mikrometer liegt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teilchenkonzentration zwischen etwa 0,001 und 40 Masseprozent des Plasmastrahls (3) liegt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teilchenkonzentration zwischen etwa 20 und 40 Masseprozent des Plasmastrahls (3) liegt.
11. Vorrichtung zur Erzeugung eines teilchenbeladenen Wärmestroms, die enthält:
- eine Plasmaquelle (1) mit einem Plasmaquellenende, das eine Hauptachse hat, entlang der ein Plasmastrahl (3) nach außen gerichtet ist,
 - mindestens einen Teilcheninjektor (5) mit mindestens eine Ausgangsöffnung (6), wobei der Teilcheninjektor (5) dazu bestimmt ist, ein Trägergas und Teilchen in den Plasmastrahl (3) einzuspritzen,
 - dadurch gekennzeichnet, dass** sie enthält:
 - einen in zwei Richtungen verschiebbaren Träger, um den Injektor (5) axial und radial bezüglich der Hauptachse (2) zu positionieren, und Neigungseinrichtungen, um die Winkelstellung des Injektors (5) bezüglich einer Achse (7) lotrecht zur Hauptachse (2) zu steuern,
 - einen ersten optischen Detektor (9) und Anzeigeeinrichtungen, um die mittlere Bahn der Teilchen vom Ausgang des Injektors (5) und im Plasmastrahl (3) zu erfassen, und
 - Einrichtungen (10, 11), um die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen zu bestimmen, wobei die Einrichtungen zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit der Teilchen eine Lichtimpulse erzeugende Lichtquelle (10) und einen zweiten optischen Detektor (11) enthalten, wobei der zweite optische Detektor (11) und die Lichtquelle (10) synchronisiert sind.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ende der Plasmaquelle (1) mit einem Vakuumraum (13) verbunden ist, in den der Plasmastrahl (3) gerichtet ist, wobei der Raum (13) eine Pumpeinheit und den Teilcheninjektor (5) enthält.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mindestens ein Dosierventil (14) und einen Druckmessstab enthält, um ein Gas in den Raum (13) einzuführen.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gas CO₂ ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mehrere Injektoren (5) enthält, die homogen um den Plasmastrahl (3) herum verteilt sind.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teilchen aus der Gruppe ausgewählt werden, die Al₂O₃, SiO₂, FeOH, Fe₃O₄ und Kombinationen von diesen enthält.

Claims

1. Method for generating a heat flow laden with particles, said particles being at least partially directed onto an object, in which a carrier gas and particles are injected from at least one particle injector (5) having at least one exit orifice (6) into a plasma jet (3)

directed from the end of a plasma source (1) towards the exterior along a main axis (2), said plasma jet (3) having a core,

characterised in that the axial and radial positions of said particle injector (5) relative to said main axis (2) and the inclination of said injector (5) relative to an axis (7) perpendicular to said main axis are adjusted and the average amount of movement of said particles at the exit orifice (6) of said injector (5) is controlled in order to impel uniformly said particles into the core of the plasma jet (3) so that said particles acquire at a variable distance D from the end of the plasma source (1) a maximum average speed, and

- said distance D of the end of the plasma source (1) is determined and said object is positioned at about this distance D.

2. Method according to Claim 1, **characterised in that** said maximum average speed is measured and the speed of the plasma jet (3) is adjusted to a set speed value.
3. Method according to Claim 2, **characterised in that** the speed of said plasma jet (3) is adjusted by adding a nozzle at the end of the plasma source (1).
4. Method according to Claim 2, **characterised in that** the speed of said plasma jet (3) is adjusted by increasing the electrical power of operation of the plasma source (1).
5. Method according to Claim 2, **characterised in that** the speed of said plasma jet (3) is adjusted by adding to the carrier gas used to generate the plasma a gas chosen from the group comprising H₂, CO₂ and N₂.
6. Method according to any one of Claims 1 to 5, **characterised in that** the average path of the particles from the exit orifice (6) of said injector (5) and in the plasma jet (3) is determined using a first optical detector (9) so as to adjust the position and inclination of said particle injector (5) and to adjust the average amount of movement of said particles at the exit of said injector.
7. Method according to any one of Claims 1 to 5, **characterised in that** the average speed of each particle is measured by illuminating said particle at at least three different instants using a light source (10) generating light pulses, and by detecting in a single image the corresponding reflected light using a second optical detector (11), said second optical detector (11) and said light source (10) being synchronised.
8. Method according to any one of Claims 1 to 5, **characterised in that** the size of the particles is comprised between about 20 and 40 microns.

9. Method according to any one of Claims 1 to 5, **characterised in that** the particle concentration is comprised between about 0.001 and 40 percent by weight of the plasma jet (3).

10. Method according to Claim 9, **characterised in that** the particle concentration is comprised between about 20 and 40 percent by weight of the plasma jet (3).

11. Device for generating a heat flow laden with particles, comprising:

- a plasma source comprising a plasma source (1) end, having a main axis along which a plasma jet (3) is directed towards the exterior; and
- at least one particle injector (5) having at least one exit orifice (6), said particle injector (5) being intended to inject a carrier gas and particles into the plasma jet (3),

characterised in that it comprises:

- a holder that is movable in two directions in order to position said injector (5) axially and radially relative to said main axis (2) and inclining means for controlling the angular position of said injector (5) relative to an axis (7) perpendicular to said main axis (2);

- a first optical detector (9) and display means for detecting the average path of the particles from the exit of the injector (5) and in the plasma jet (3); and

- means for determining the average speed (10, 11) of said particles, said means for determining the average speed of said particles comprising a light source (10) generating light pulses and a second optical detector (11), said second optical detector (11) and said light source (10) being synchronised.

12. Device according to Claim 11, **characterised in that** the end of the plasma source (11) is connected to a vacuum chamber (13) into which the plasma jet (3) is directed, said chamber (13) comprising a pumping unit and said particle injector (5).

13. Device according to Claim 12, **characterised in that** it comprises at least one metering valve (14) and a pressure gauge for introducing a gas into said chamber (13).

14. Device according to Claim 13, **characterised in that** said gas is CO₂.

15. Device according to any one of Claims 11 to 14, **characterised in that** it comprises a plurality of injectors (5) distributed uniformly about the plasma jet (3).

16. Device according to any one of Claims 11 to 15, **characterised in that** said particles are chosen from the group comprising Al_2O_3 , SiO_2 , FeOH , Fe_3O_4 and combinations thereof.

5

10

15

20

25

30

35

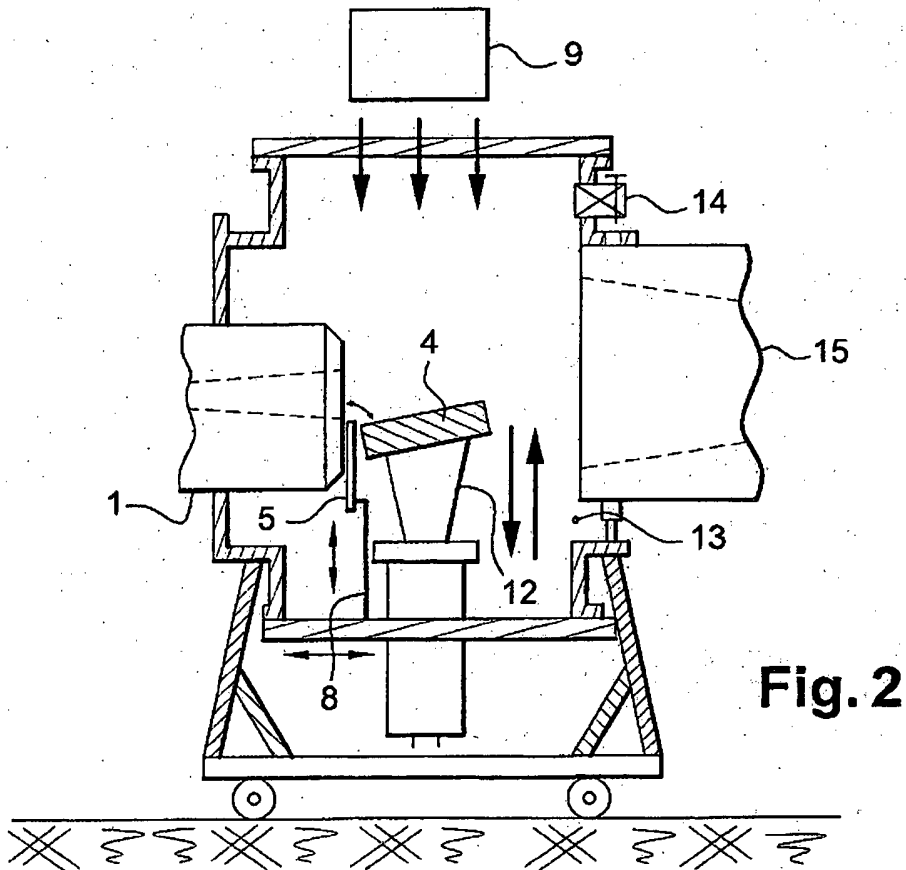
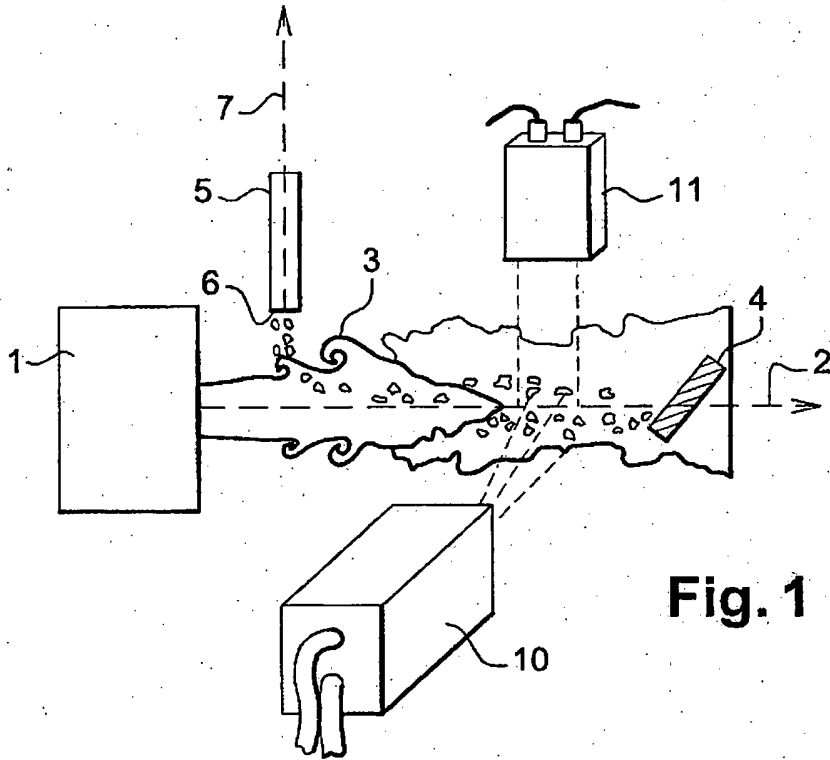
40

45

50

55

10



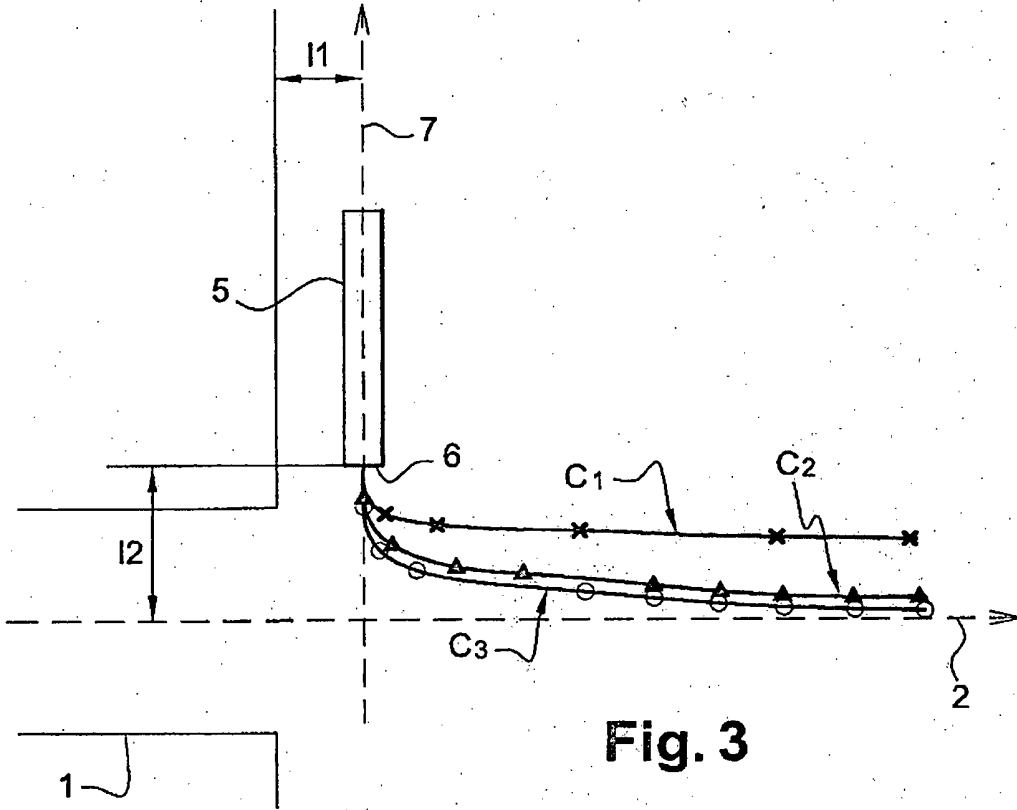


Fig. 3

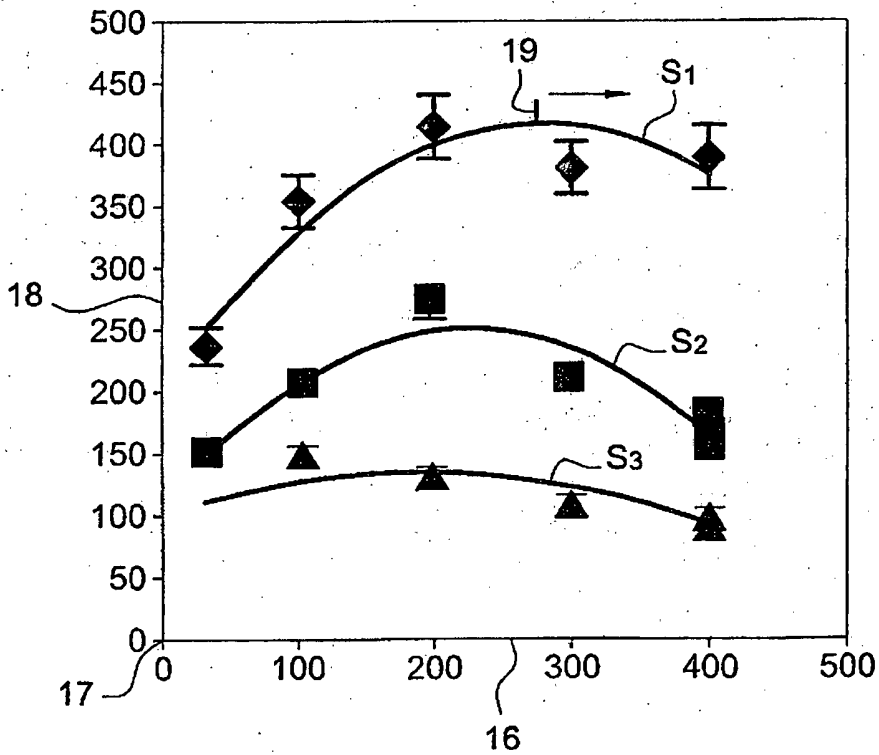


Fig. 4

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 3893335 A, Jonhson [0009]
- DE 3435748 A1 [0011]

Littérature non-brevet citée dans la description

- Mars entry simulation with dust using an inductively heated generator. 22nd Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference. AIAA, 2002, 2002-3237 [0010]