(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 202 332 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
30.06.2010 Bulletin 2010/26

(51) Int Cl.:
C23C 24/04 *(2006.01)* ***B05B 7/14*** *(2006.01)*
B05B 7/16 *(2006.01)*

(21) Numéro de dépôt: **09180869.1**

(22) Date de dépôt: **29.12.2009**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
AL BA RS

(30) Priorité: **29.12.2008 RU 2008152548**

(71) Demandeurs:
- **Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint Etienne**
  42000 Saint Etienne (FR)
- **Etablissement de l'Académie des Sciences de Russie**
  "Institut de Mécanique Théorique et Appliquée S.A.
  Khristianovich"
  Novosibirsk 630090 (RU)

(72) Inventeurs:
- **Kosarev, Vladimir Federovich**
  630058, Novosibirsk (RU)
- **Klinkov, Sergey Vladimirovich**
  630090, Novosibirsk (RU)
- **Laget, Bernard**
  42800, Chateauneuf (FR)
- **Bertrand, Philippe**
  42210, Boisset les Montrond (FR)
- **Smurov, Igor**
  42210, Boisset les Montrond (FR)

(74) Mandataire: **Delorme, Nicolas et al**
Cabinet Germain & Maureau
BP 6153
69466 Lyon Cedex 06 (FR)

(54) **Méthode d'accélération gazodynamique de matériaux en poudre et dispositif pour sa mise en oeuvre**

(57) La méthode comprend l'alimentation dudit matériau en poudre dans une buse supersonique via un point d'injection, son accélération par un flux de gaz supersonique et son dépôt par impact sur la surface d'une pièce.

La méthode prend en compte la taille des particules et la densité dudit matériau les constituant ainsi que les paramètres du gaz afin de conférer aux particules de poudre entraînées par le flux de gaz la vitesse maximale susceptible d'être atteinte à leur impact à la surface de la pièce traitée grâce à l'accélération du flux de gaz et de poudre dans la partie supersonique de la buse dont la longueur et la dimension transversale correspondent aux conditions suivantes :

$$L = 4,35\rho_p d_p \pm 50\%;\ b = 0,065\rho_p d_p \pm 50\%,$$

où L est la longueur de la partie supersonique de la buse, ρ_p est la densité d'une particule dudit matériau, d_p est le diamètre d'une particule et b est selon le cas soit le diamètre (dans le cas d'une buse axisymétrique) soit la hauteur (dans le cas d'une buse plate) de la section critique.

EP 2 202 332 A1

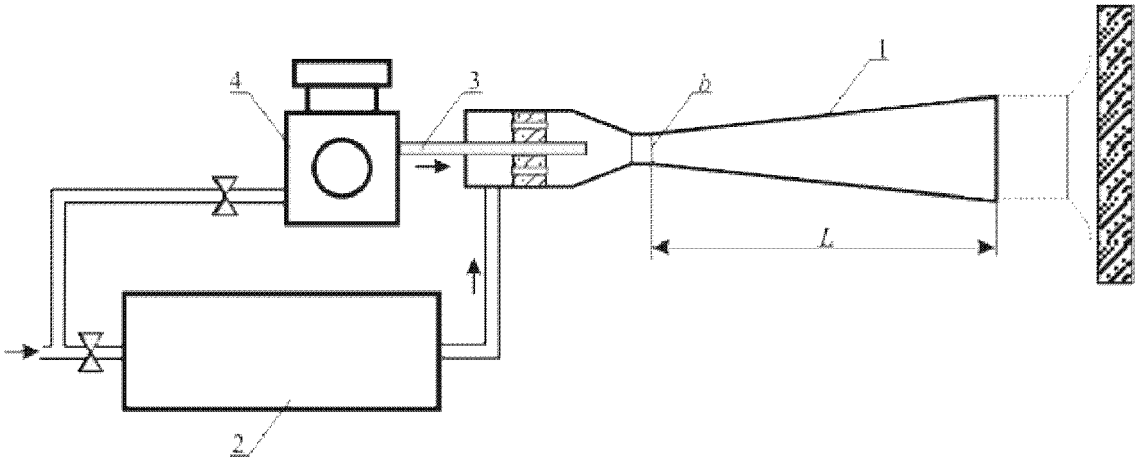


FIG. 1

Description

[0001] La présente invention concerne une méthode et un dispositif d'accélération gazodynamique de matériaux en poudre en vue de l'utilisation dans la mécanique et d'autres domaines industriels pour former des revêtements fonctionnels apportant des propriétés différentes sur les surfaces traitées. En outre, la présente invention peut être mise en oeuvre dans les procédés utilisant les impacts à haute vitesse entre des particules de poudre et une surface de substrat tels que le sablage des surfaces, le morcèlement/granulation de particules de poudre, etc.

[0002] On connait déjà des systèmes de projection gazodynamique des matériaux en poudre.

[0003] Le document RU n° 2257423 décrit ainsi un système qui comporte un module de projection composé d'un réchauffeur électrique de gaz comprimé et d'une buse supersonique reliée à l'orifice de sortie dudit réchauffeur et comportant un module d'injection de poudre dans ladite buse, un module de commande relié au réchauffeur électrique de gaz comprimé par une conduite flexible et par un câble électrique, un conteneur d'alimentation en poudre dont l'orifice de sortie est reliée au module d'injection de poudre dans la buse. Pour sécuriser le fonctionnement du système en diminuant la température des composants extérieurs du réchauffeur électrique de gaz comprimé, ledit réchauffeur comporte une housse en cuir qui enveloppe un bâti métallique en laissant un espace libre entre lui et ledit bâti, l'espace libre étant rempli d'un matériau calorifuge et ledit bâti comportant un échangeur de chaleur et ayant des orifices d'aération permettant la circulation d'un gaz de refroidissement à l'intérieur de la housse. Le module d'injection de poudre dans la buse prévoit, selon une forme de réalisation préférée, l'injection de la poudre dans la zone supercritique de la buse supersonique à l'oblique par rapport à l'axe longitudinale de la buse afin d'augmenter l'efficacité du procédé de projection grâce à une répartition plus uniforme du matériau en poudre dans la section transversale de la buse. Le dispositif prévoit l'utilisation des buses ayant la section transversale ronde ou rectangulaire en fonction des formes géométriques des surfaces traitées d'une pièce. En fonction de la composition du matériau utilisé, le rapport entre la longueur de la partie supersonique de la buse et la dimension de la section transversale minimale de ladite buse peut varier de 20 à 100.

[0004] L'inconvénient de ce dispositif est que les dimensions de la buse supersonique en faisant partie intégrante ne sont aucunement liées à la taille de diamètre et la densité du matériau des particules projetées. De ce fait, en utilisant ce dispositif, il est impossible de communiquer aux particules au cours de leur mouvement dans la partie supersonique de la buse l'accélération optimale pour atteindre la vitesse d'impact à la surface de la pièce traitée maximale susceptible d'être atteinte par les particules projetées compte tenu de leurs caractéristiques de taille et de densité et, par conséquent, d'assurer la qualité maximale des revêtements résultants.

[0005] Le document RU n° 2288970 décrit un système de projection gazodynamique à froid des matériaux en poudre qui comporte un réchauffeur électrique de gaz comprimé, une buse supersonique (dite de Laval) reliée par un orifice de sortie audit réchauffeur et comportant une gorge située entre les parties convergente et divergente de ladite buse, un module d'injection de poudre dans la buse comportant des points d'injection destinés à l'injection de poudre dans la buse et situés en amont de la buse après la gorge, ledit module d'injection comportant au moins un conteneur d'alimentation en poudre relié par des conduites auxdits points d'injection d'au moins un matériau en poudre, et les caractéristiques géométriques de la partie de la buse située en amont des points d'injection de poudre et destinée à accélérer les particules de poudre injectées dans la buse correspondant aux conditions suivantes : $0{,}015 < B(Saut/Sinj-1)/L < 0{,}03$, où *Sout* est l'aire de la section transversale de la buse à son extrémité de sortie, *Sinj* est l'aire de la section transversale de la buse à l'endroit de la position des points d'injection de poudre, *L* est la longueur de la partie de la buse destinée à accélérer les particules de poudre injectées dans la buse, *B* est la dimension minimale de la section transversale de la buse à l'endroit de la position des points d'injection de poudre. Le dispositif prévoit l'utilisation des buses ayant la section transversale ronde ou rectangulaire en fonction des formes géométriques et de la composition des surfaces traitées d'une pièce ainsi que des objectifs visés et des caractéristiques du revêtement résultant désirées.

[0006] Comme dans le cas précédant, l'inconvénient de ce dispositif est que les dimensions de la buse supersonique en faisant partie intégrante ne sont aucunement liées à la taille de diamètre et la densité du matériau des particules projetées. De ce fait, en utilisant ce dispositif, il est impossible de communiquer aux particules au cours de leur mouvement dans la partie supersonique de la buse l'accélération optimale pour atteindre la vitesse d'impact à la surface de la pièce traitée maximale susceptible d'être atteinte par les particules projetées compte tenu de leurs caractéristiques de taille et de densité et, par conséquent, d'assurer la qualité maximale des revêtements résultants. Or, le rapport typique des aires *Sout* et *Sinj* étant $Sout/Sinj \approx 2 - 4$, la formule $0{,}015 < B(Saut/Sinj-1)/L < 0{,}03$ utilisée par ce procédé et ce dispositif, en effet, ne détermine que le rapport entre la longueur de la partie de la buse destinée à accélérer les particules de poudre et la dimension minimale de la section transversale à l'endroit de la position des points d'injection de poudre. Par exemple, une buse ayant $B = 0{,}1$ mm, $L = 5$ mm et $Sout/Sinj = 2$ et, par cela, satisfaisant à la formule proposée ne permettrait pas de réaliser un revêtement à partir des particules ayant des tailles dans la gamme indiquée parce que le parcours d'accélération serait trop court pour que les particules puissent atteindre la vitesse nécessaire pour effectuer un dépôt.

[0007] Le document US 6 743 468 considéré comme l'état de la technique le plus proche décrit un procédé et un dispositif pour le dépôt de revêtements sur la surface d'une pièce par projection cinétique et projection thermique en

utilisant une seule et même buse. Le dispositif selon cette invention comporte un réchauffeur de gaz permettant à l'utilisateur de passer du mode de projection cinétique qui s'effectue sans amollissement thermique de particules au mode de projection thermique avec amollissement thermique de particules avant la projection. Une telle construction de buse s'élargit le spectre d'applications de la méthode dans la projection cinétique. La méthode selon cette invention utilise des particules ayant une taille de diamètre d_p = 50 - 250 μm et des buses ayant des dimensions comme suit : la longueur de la partie supersonique est L = 60 - 400 mm, le diamètre de la section critique de la buse axisymétrique est d_{cr} = 1,5 - 3,5 mm.

[0008] L'inconvénient de ce procédé et de ce dispositif est que les dimensions de la buse supersonique en faisant partie intégrante sont optimisées uniquement compte tenu de l'utilisation des particules ayant des tailles dans la gamme revendiquée dans le brevet (d_p = 50 - 250 μm) et ne sont aucunement liées à la densité du matériau des particules. De ce fait, il est impossible, en mettant en oeuvre cette invention, de communiquer aux particules projetées au cours de leur mouvement dans la partie supersonique de la buse l'accélération optimale pour atteindre la vitesse d'impact à la surface de la pièce traitée maximale susceptible d'être atteinte si elles ont une taille distincte de celles revendiquées. Par exemple, ce dispositif est incapable d'assurer une haute vitesse d'impacte à la surface d'une pièce traitée aux particules ayant une taille de diamètre inférieure à 1 μm en raison du fait que les particules de telles dimensions seraient ralenties de façon considérable dans une couche limite compressible formée par un jet supersonique impactant une cible.

[0009] Dans ce contexte technique, l'objectif de la présente invention est de communiquer aux particules au cours de leur mouvement dans la partie supersonique de la buse l'accélération optimale pour atteindre la vitesse d'impact à la surface de la pièce traitée maximale susceptible d'être atteinte aux paramètres de gaz donnés (composition, température et pression de stagnation) au moyen du développement et de l'application des buses ayant les paramètres géométriques optimales, notamment, le rapport entre la longueur de la partie supersonique et la section critique, calculés spécialement pour l'utilisation des particules ayant une taille et une densité du matériau les constituant concrètes.

[0010] La présente invention offre les améliorations suivantes par rapport à l'état actuel de la technique :

- l'augmentation du rendement de déposition et de la qualité des revêtements déposés par la projection gazodynamique à froid ;
- la possibilité d'utiliser dans la projection gazodynamique à froid et le sablage des surfaces, selon une réalisation préférée, les particules ayant une taille inférieure à 1 μm et d'obtenir une résolution spatiale inférieure à 1 mm;
- l'augmentation du rendement des procédés de sablage des surfaces et de morcèlement/granulation de particules.

[0011] Prenons un exemple. On souhaite déposer un revêtement à partir d'un matériau en poudre avec les particules ayant un diamètre d'environ 100 nm (nanoparticules). Il ne se formera pas de dépôt si l'on utilise une buse de projection gazodynamique traditionnelle, c'est-à-dire, avec la longueur de la partie supersonique d'environ 100 mm et le diamètre de la section critique d'environ 3 mm. Cela s'explique par le fait que les particules de si faibles dimensions n'atteindront pas de grandes vitesses d'impact à la surface de cible à cause d'un ralentissement considérable qu'elles subiront dans une couche limite compressible formée par un jet supersonique impactant une cible.

[0012] Il y a encore un aspect à considérer. Si l'on souhaite obtenir une haute résolution spatiale du procédé mise en oeuvre, comme, par exemple, le dépôt de cordons de moins de 1 mm de largeur ou la fabrication directe d'objets tridimensionnels par projection de poudres, l'orifice de sortie de la buse utilisée doit avoir des dimensions spécialement prévues à cet effet. La partie supersonique de telle buse doit être raccourcie. En fonction des dimensions choisies d'une buse, les particules à projeter doivent être sélectionnées ayant une taille qui leur permettrait d'atteindre la vitesse maximale d'impact à la surface de cible susceptible d'être atteinte. Or, les particules de faibles dimensions sont bien accélérées dans la buse, mais fortement ralenties dans la couche limite compressible. Les particules grosses, au contraire, ne subissent presque pas de ralentissement dans la couche limite compressible, mais en même temps, leur accélération dans la buse est difficile. C'est pourquoi il s'agit d'opter pour une taille de particules qui permettrait aux particules projetées d'atteindre la vitesse maximale d'impact à la surface de cible et, de ce fait, d'obtenir le rendement de déposition et la qualité des revêtements déposés maximaux ou d'autres caractéristiques performantes propres au procédé mis en oeuvre (sablage des surfaces, morcèlement/granulation de particules).

[0013] La présente invention résout avantageusement les problèmes évoqués ci-dessus en proposant une méthode d'accélération gazodynamique à froid d'au moins un matériau en poudre comprenant l'alimentation dudit matériau en poudre dans une buse supersonique via un point d'injection, son accélération par un flux de gaz supersonique et son dépôt par impact sur la surface d'une pièce, la méthode prenant en compte la taille des particules et la densité du matériau les constituant ainsi que les paramètres du gaz afin de conférer aux particules de poudre entraînées par le flux de gaz la vitesse maximale susceptible d'être atteinte à leur impact à la surface de la pièce traitée grâce à l'accélération du flux de gaz et de poudre dans la partie supersonique de la buse dont la longueur et la dimension transversale correspondent aux conditions suivantes :

$$L = 4{,}35\rho_p d_p \pm 50\%;\quad b = 0{,}065\rho_p d_p \pm 50\%,$$

où L est la longueur de la partie supersonique de la buse, ρ_p est la densité d'une particule dudit matériau, d_p est le diamètre d'une particule, $b = h$ est la hauteur de la buse, $b = d_{cr}$ est le diamètre de la section critique de la buse axisymétrique.

[0014] Les valeurs ci-dessus sont obtenues au moyen de la modélisation mathématique effectuée pour une large gamme de dimensions de particules et de buse, de pressions et de températures de gaz (air, azote, hélium) et comparée à des mesures expérimentales de la vitesse des particules de différentes tailles et de leur densité à l'orifice de sortie de la buse.

[0015] La méthode selon l'invention peut utiliser, comme gaz comprimé porteur : l'air comprimé, l'azote comprimé, l'hélium comprimé ou un mélange de ces gaz.

[0016] Selon une réalisation possible, le gaz comprimé est chauffé jusqu'à des températures entre 300 et 9800 K.

[0017] Les matériaux en poudre utilisés sont par exemple constitués de particules ayant une taille comprise entre 0,1 et 1000 μm.

[0018] La méthode peut utiliser : des matériaux en poudre métalliques, des matériaux en poudre non métalliques, des mélanges de poudres métalliques ayant des valeurs de $\rho_p d_p$ proches, des mélanges de poudres non métalliques ayant des valeurs de $\rho_p d_p$ proches ou des mélanges de poudres métalliques et non métalliques ayant des valeurs de $\rho_p d_p$ proches.

[0019] La présente méthode est mise en oeuvre par un dispositif d'accélération gazodynamique à froid d'au moins un matériau en poudre comprenant une buse supersonique reliée à un injecteur de poudre, un doseur de poudre relié par un orifice de sortie audit injecteur de poudre. Ce dispositif prévoit l'utilisation de buses plates ou axisymétriques démontables et échangeables, la longueur de la partie supersonique et la dimension typique de la section critique desdites buses correspondant aux conditions suivantes :

$$L = 4{,}35\rho_p d_p \pm 50\%,\quad b = 0{,}065\rho_p d_p \pm 50\%,$$

où L est la longueur de la partie supersonique de la buse, ρ_p est la densité d'une particule dudit matériau, d_p est le diamètre d'une particule, $b = h$ est la hauteur de la buse, $b = dc_r$ est le diamètre de la section critique de la buse axisymétrique.

[0020] L'un des avantages de la méthode et du dispositif de projection gazodynamique de matériaux en poudre proposés est qu'en fonction de la taille des particules et de la densité du matériau les constituant sélectionnées en vue d'une opération technologique distincte ainsi que de la pression et de la température de gaz (par exemple, air, azote, hélium ou le mélange d'au moins deux de ces gaz), les dimensions de la partie supersonique de la buse utilisée peuvent être calculées de manière à assurer la vitesse maximale d'impact des particules à la surface de cible susceptible d'être atteinte, et, de ce fait, à améliorer avantageusement la qualité du dépôt, le rendement et la qualité du procédé de nettoyage des surfaces, le rendement du procédé de morcèlement/granulation de particules. En même temps, pour assurer la résolution spatiale désirée du procédé de projection ou de sablage des surfaces, il est possible de jouer sur la granulométrie de la poudre en choisissant la taille des particules du matériau en poudre souhaité de manière à assurer un haut rendement de déposition et une haute qualité du revêtement résultant, la bonne réalisation du procédé de sablage d'une surface ayant une structure à grains fins correspondante à la tailles des particules projetées.

[0021] Pour sa bonne compréhension, l'invention est décrite en référence à la figure unique du dessin ci-annexé représentant à titre d'exemple non limitatif une forme de réalisation d'un dispositif selon l'invention.

[0022] Le dispositif d'accélération gazodynamique à froid des matériaux en poudre comprend une buse supersonique démontable et échangeable 1 reliée à l'orifice de sortie d'un réchauffeur électrique 2 et à un injecteur de poudre dans ladite buse 3, un doseur de poudre 4 dont l'orifice de sortie est relié audit injecteur de poudre. La partie supersonique de ladite buse peut être, selon une forme de réalisation préférée, de forme plate ou axisymétrique, la buse ayant la longueur de la partie supersonique et la dimension typique de la section critique correspondant aux conditions suivantes :

$$L = 4{,}35\rho_p d_p \pm 50\%,\ b = 0{,}065\rho_p d_p \pm 50\%,$$

où L est la longueur de la partie supersonique de la buse, ρ_p est la densité d'une particule dudit matériau, d_p est le diamètre d'une particule, $b = h$ est la hauteur de la buse, $b = d_{cr}$ est le diamètre de la section critique de la buse

axisymétrique.

[0023] Le procédé est mis en oeuvre comme suit.

[0024] En fonction du procédé de projection/sablage/granulation de particules et du choix, à cet effet, de poudre (densité du matériau des particules et leur teilla moyenne) et de pression et de températures de gaz (par exemple, air, azote, hélium ou le mélange d'au moins deux de ces gaz), les rapports simulés présentés ci-dessus sont mis en oeuvre pour calculer les dimensions principales de la buse: la longueur de la partie supersonique et la section critique (la hauteur pour une buse plate et le diamètre de la section critique pour une buse axisymétrique). Les particules entraînées par un flux de gaz dans une telle buse spécialement calculée se voient conférer la vitesse maximale susceptible d'être atteinte à leur impact à la surface de la pièce traitée grâce à l'accélération du flux de gaz et de poudre dans la partie supersonique de ladite buse, plate ou axisymétrique.

[0025] L'utilisation des buses spécialement conçues pour une taille de diamètre concrète de particules d'un matériau en poudre souhaité permet d'obtenir la vitesse maximale d'impact des particules projetées à la surface de la pièce traitée.

[0026] On décrit à présent, à titre d'exemples non limitatifs, des variantes d'utilisation de la présente invention avec les particules de différentes tailles.

1. Des particules de poudre de cuivre de 1 μm de diamètre moyen sont projetées par la méthode gazodynamique à froid. La pression de stagnation de l'azote ou de l'aire, selon une réalisation préférée, est de 2,0 MPa, la température de stagnation est de 700 K. Les rapport simulés pour une buse plate sont $L = 4{,}35\rho_p d_p \pm 50\%$, $h = 0{,}065\rho_p d_p$ 50%. On introduit $\rho_p = 8940$ kg/m^3 et $d_p = 1.10^{-6}$ m et obtient les dimensions optimales de la buse $L = 20$ - 60 mm et $h =$ 0,29 - 0,87 mm qui assureront la vitesse maximale d'impact des particules projetées à la surface de cible.
2. Pour les particules d'aluminium ($\rho_p = 2700$ kg/m^3) de la même taille projetées par une buse axisymétrique, on obtient $L = 6$ - 18 mm et $d_{cr} = 0{,}09$ - 0,26 mm. La pression de stagnation de l'azote ou de l'aire est de 2,0 MPa, la température de stagnation est de 500 K.
3. On souhaite obtenir une résolution spatiale de 0,5 mm lors de projection de particules de cuivre. On choisi une buse avec 0,5 mm de diamètre d'orifice de sortie et, en conséquence, d'environ 0,3 mm de diamètre de section critique. La pression de stagnation de l'hélium est de 2,0 MPa, la température de stagnation est de 300 K. Selon la formule $d_{cr} = 0{,}065\rho_p d_p \pm 50\%$, on obtient la taille nécessaire des particules de cuivre et, selon la formule $L = 4{,}35\rho_p d_p \pm 50\%$, on calcule la longueur de la partie supersonique de la buse nécessaire pour communiquer aux particules l'accélération optimale. Dans ce cas, on obtient $d_p = (0{,}34 - 1{,}03)\cdot 10^{-6}$ m = 0,34 - 1,03 μm et $L = 13{,}2$ - 40 mm.
4. Pour le sablage d'une surface, prenons la poudre d'Al_2O_3 avec 10 μm de diamètre moyen de particules. La pression de stagnation de l'aire est de 0,6 MPa, la température de stagnation est de 300 K. Les rapports simulés pour une buse plate sont $L = 4{,}35\rho_p d_p \pm 50\%$, $h = 0{,}065\rho_p d_p \pm 50\%$. On introduit $\rho_p \approx 4000$ kg/m^3 et $d_p = 10\cdot 10^{-6}$ m et obtient les dimensions optimales de la buse $L \approx 90$ - 270 mm et $h \approx 1{,}2$ - 3,7 mm qui assureront la vitesse maximale d'impact des particules projetées à la surface de cible.

[0027] On souhaite obtenir une résolution spatiale de 1,0 mm lors de sablage d'une surface par projection de la poudre de SiC. On choisi une buse avec 0,1 mm de diamètre d'orifice de sortie et, en conséquence, d'environ 0,5 mm de diamètre de section critique. La pression de stagnation de l'air est de 1,0 MPa, la température de stagnation est de 300 K. Selon la formule $d_{cr} = 0{,}065\rho_p d_p \pm 50\%$, on obtient la taille nécessaire des particules de carbure de silicium et, selon la formule $L = 4{,}35\rho_p d_p \pm 50\%$, on calcule la longueur de la partie supersonique de la buse nécessaire pour communiquer aux particules l'accélération optimale. Dans ce cas, on obtient :

$$d_p = (1{,}2 - 3{,}6)\cdot 10^{-6} \text{ m} = 1{,}2 - 3{,}6 \text{ μm et } L = 16{,}7 - 50{,}1 \text{ mm.}$$

Revendications

1. Méthode d'accélération gazodynamique à froid d'au moins un matériau en poudre comprenant l'alimentation dudit matériau en poudre dans une buse supersonique via un point d'injection, son accélération par un flux de gaz supersonique et son dépôt par impact sur la surface d'une pièce, **caractérisée en ce qu'**elle prend en compte la taille des particules et la densité dudit matériau les constituant ainsi que les paramètres du gaz afin de conférer aux particules de poudre entraînées par le flux de gaz la vitesse maximale susceptible d'être atteinte à leur impact à la surface de la pièce traitée grâce à l'accélération du flux de gaz et de poudre dans la partie supersonique de la buse dont la longueur et la dimension transversale correspondent aux conditions suivantes :

$$L = 4{,}35\rho_p d_p \pm 50\%;\quad b = 0{,}065\rho_p d_p \pm 50\%,$$

où L est la longueur de la partie supersonique de la buse, ρ_p est la densité d'une particule dudit matériau, d_p est le diamètre d'une particule, $b = h$ est la hauteur de la buse, $b = d_{cr}$ est le diamètre de la section critique de la buse axisymétrique.

2. Méthode selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'**elle utilise l'air comprimé comme gaz comprimé porteur.

3. Méthode selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'**elle utilise l'azote comprimé comme gaz comprimé porteur.

4. Méthode selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'**elle utilise l'hélium comprimé comme gaz comprimé porteur.

5. Méthode selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'**elle utilise comme gaz comprimé porteur un mélange d'air comprimé, d'azote comprimé et/ou d'hélium comprimé.

6. Méthode selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** le gaz comprimé est chauffé jusqu'à des températures entre 300 et 9800 K.

7. Méthode selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce qu'**elle utilise des matériaux en poudre constitués de particules ayant une taille comprise entre 0,1 et 1000 μm.

8. Méthode selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce qu'**elle utilise des matériaux en poudre métalliques.

9. Méthode selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce qu'**elle utilise des matériaux en poudre non métalliques.

10. Méthode selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisée en ce qu'**elle utilise des mélanges de poudres métalliques ayant des valeurs de $\rho_p d_p$ proches.

11. Méthode selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisée en ce qu'**elle utilise des mélanges de poudres non métalliques ayant des valeurs de $\rho_p d_p$ proches.

12. Méthode selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisée en ce qu'**elle utilise des mélanges de poudres métalliques et non métalliques ayant des valeurs de $\rho_p d_p$ proches.

13. Dispositif d'accélération gazodynamique à froid d'au moins un matériau en poudre comprenant une buse supersonique reliée à un injecteur de poudre, un doseur de poudre relié par un orifice de sortie audit injecteur de poudre, **caractérisé en ce qu'**il prévoit l'utilisation de buses plates ou axisymétriques démontables et échangeables, la longueur de la partie supersonique et la dimension typique de la section critique desdites buses correspondant aux conditions suivantes :

$$L = 4{,}35\rho_p d_p \pm 50\%,\quad b = 0{,}065\rho_p d_p \pm 50\%,$$

où L est la longueur de la partie supersonique de la buse, ρ_p est la densité d'une particule dudit matériau, d_p est le diamètre d'une particule, $b = h$ est la hauteur de la buse, $b = d_{cr}$ est le diamètre de la section critique de la buse axisymétrique.

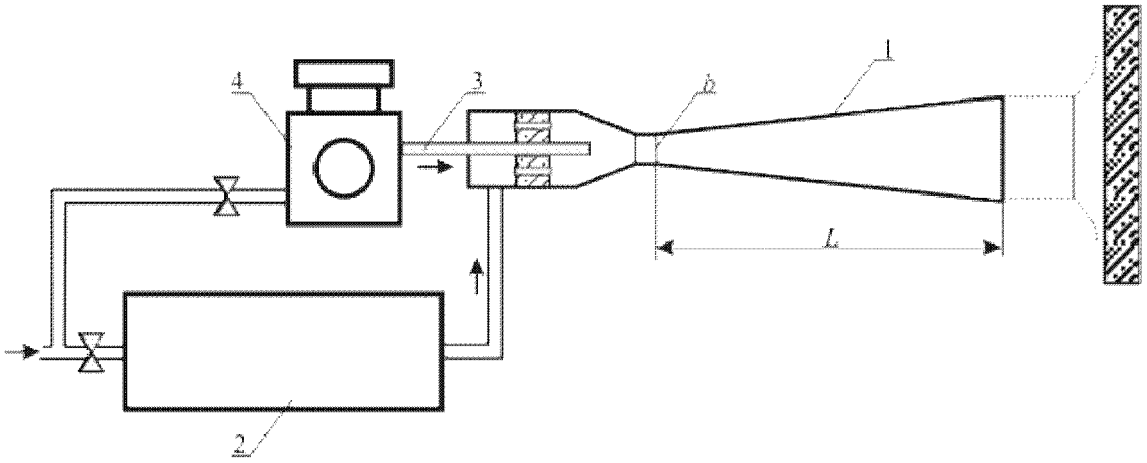


FIG. 1

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 09 18 0869

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	DE 103 19 481 A1 (LINDE AG [DE]) 18 novembre 2004 (2004-11-18) * alinéa [0013] - alinéa [0017]; figure 1 *	1-13	INV. C23C24/04 B05B7/14 ADD. B05B7/16
A	US 4 300 723 A (PRASTHOFER WILLIBALD P) 17 novembre 1981 (1981-11-17) * colonne 3, ligne 56 - ligne 63; figure 1 *	1-13	
A	WO 2008/025815 A1 (STARCK H C GMBH [DE]; EILING ALOYS [DE]; ANGERMANN GERHARD [DE]; ZIMME) 6 mars 2008 (2008-03-06) * page 9, ligne 8 - page 10, ligne 15; figures 1,2 *	1-13	
A,D	US 2004/058064 A1 (FULLER BRIAN K [US] ET AL FULLER BRIAN K [US] ET AL) 25 mars 2004 (2004-03-25) * alinéa [0021] - alinéa [0023]; figure 3 *	1-13	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)

C23C
B05B

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications

Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
Munich	16 mars 2010	Gineste, Bertrand

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

1 EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO. EP 09 18 0869

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits members sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

16-03-2010

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 10319481 A1	18-11-2004	US 2005001075 A1	06-01-2005
US 4300723 A	17-11-1981	AUCUN	
WO 2008025815 A1	06-03-2008	DE 112007001601 A5	23-07-2009
US 2004058064 A1	25-03-2004	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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

- RU 2257423 **[0003]**
- RU 2288970 **[0005]**
- US 6743468 B **[0007]**