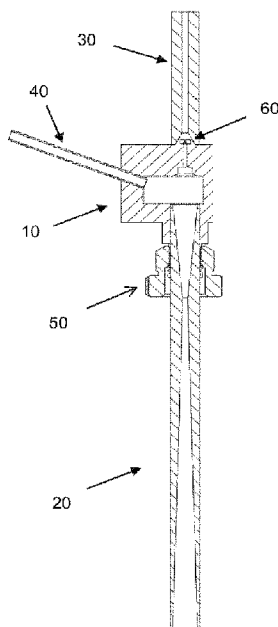




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2019/05/03
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2019/11/07
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2024/01/30
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2020/10/19
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: EP 2019/061437
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2019/211462
(30) Priorité/Priority: 2018/05/04 (FR1853853)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B24C 1/00* (2006.01),
B24C 5/04 (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
TAZIBT, ABOU-EL-FOUTOUH, FR;
ASCANI NEE NIVELET, JENNIFER, FR
(73) Propriétaire/Owner:
CRITT TECHNIQUES JET FLUIDE ET USINAGE, FR
(74) Agent: LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCEDE POUR LE TRAITEMENT SUPERFICIEL D'UN MATERIAU
(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR THE SURFACE TREATMENT OF A MATERIAL



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne un dispositif et un procédé pour le traitement superficiel d'un matériau par un jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou hypercritique pouvant être chargé de particules. Le dispositif comprend : - une chambre de mélange (10) fermée par une paroi aval dans laquelle est réalisé un orifice de sortie; et - un canon de focalisation (20) présentant une ouverture d'entrée et une ouverture de sortie, l'ouverture d'entrée du canon étant conçue pour être fixée à la chambre de mélange (10) en étant en contact fluïdique avec l'orifice de sortie de la chambre de mélange (10), le jet sous d'azote devant traverser le canon de focalisation de l'ouverture d'entrée à l'ouverture de sortie. Conformément à l'invention, le canon de focalisation est un canon de focalisation diffusion (20) constitué d'un tube creux présentant trois parties successives placées les unes derrière les autres, à savoir : - une partie convergente (21) située du côté de l'ouverture d'entrée du canon de focalisation diffusion et dont la face interne, considérée dans le sens d'écoulement du jet d'azote, est convergente, - un col (22) dont la face interne est cylindrique, et - une partie divergente (23) se terminant par l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion et dont la face interne, considérée dans le sens d'écoulement du jet d'azote, est divergente.



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
07 novembre 2019 (07.11.2019)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2019/211462 A1(51) Classification internationale des brevets :
B24C 1/00 (2006.01) B24C 5/04 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2019/061437(22) Date de dépôt international :
03 mai 2019 (03.05.2019)

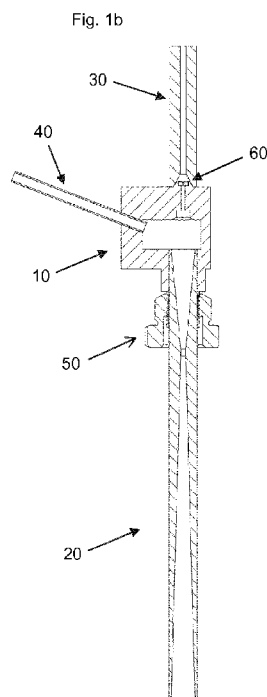
(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1853853 04 mai 2018 (04.05.2018) FR(71) Déposant : CRITT TECHNIQUES JET FLUIDE ET
USINAGE [FR/FR] ; 2, avenue de la Grande Terre, 55000
BAR LE DUC (FR).(72) Inventeurs : TAZIBT, Abou-El-Foutouh ; 32, rue de Ver-
dun, 52100 BETTANCOURT LA FERRE (FR). ASCANI
NÉE NIVELET, Jennifer ; 4, rue de l'Argonne, 51800 SI-
VRY ANTE (FR).(74) Mandataire : VIÈL, Frédéric ; Cabinet Vièl, 9, rue des
Jardins, 57520 Grosbliedersstroff (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR THE SURFACE TREATMENT OF A MATERIAL

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCÉDÉ POUR LE TRAITEMENT SUPERFICIEL D'UN MATÉRIAU



(57) **Abstract:** The invention concerns a device and a method for the surface treatment of a material by a pressurised jet of liquid nitrogen or supercritical or hypercritical cryogenic nitrogen that may be loaded with particles. The device comprises: • - a mixing chamber (10) closed by a downstream wall in which an outlet hole is provided; and • - a focusing barrel (20) having an inlet opening and an outlet opening, the inlet opening of the barrel being designed to be attached to the mixing chamber (10), being in fluid contact with the outlet hole of the mixing chamber (10), the pressurised jet of nitrogen needing to pass through the focusing barrel from the inlet opening to the outlet opening. According to the invention, the focusing barrel is a diffusion focusing barrel (20) constituted by a hollow tube having three successive portions positioned one after the other, i.e.: - a convergent portion (21) situated at the side of the inlet opening of the diffusion focusing barrel and of which the inner surface, considered in the direction of flow of the nitrogen jet, is convergent, - a neck (22) of which the inner surface is cylindrical, and - a divergent portion (23) that ends at the outlet opening of the diffusion focusing barrel and of which the inner surface, considered in the direction of flow of the nitrogen jet, is divergent.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un dispositif et un procédé pour le traitement superficiel d'un matériau par un jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou hypercritique pouvant être chargé de particules. Le dispositif comprend : • - une chambre de mélange (10) fermée par une paroi aval dans laquelle est réalisé un orifice de sortie; et • - un canon de focalisation (20) présentant une ouverture d'entrée et une ouverture de sortie, l'ouverture d'entrée du canon étant conçue pour être fixée à la chambre de mélange (10) en étant en contact fluide avec l'orifice de sortie de la chambre de mélange (10), le jet sous d'azote devant traverser le canon de focalisation de l'ouverture d'entrée à l'ouverture de sortie. Conformément à l'invention, le canon de focalisation est un canon de focalisation diffusion (20) constitué d'un tube creux présentant trois parties successives placées les unes derrière les autres, à savoir : - une partie convergente (21) située du côté de l'ouverture d'entrée du canon de focalisation diffusion et dont la face interne, considérée dans le sens d'écoulement du jet d'azote, est convergente, - un col (22) dont la face interne est cylindrique, et - une partie divergente (23) se terminant par l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion et dont la face interne, considérée dans le sens d'écoulement du jet d'azote, est divergente.

WO 2019/211462 A1

SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasienn (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

Description

Dispositif et procédé pour le traitement superficiel d'un matériau

L'invention concerne un dispositif pour le traitement superficiel d'un matériau par un jet
5 sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique
hypercritique pouvant être chargé de particules. Le dispositif comprend une chambre de
mélange fermée par une paroi aval dans laquelle est réalisé un orifice de sortie, ainsi qu'un
canon de focalisation présentant une ouverture d'entrée et une ouverture de sortie et servant
de conduite de sortie. L'ouverture d'entrée du canon est conçue pour être fixée à la chambre
10 de mélange de sorte à être en contact fluide avec l'orifice de sortie de la chambre de
mélange, le jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote
cryogénique hypercritique devant traverser le canon de focalisation de l'ouverture d'entrée à
l'ouverture de sortie. L'invention concerne également un procédé pour le traitement superficiel
d'un matériau par un jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou
15 d'azote cryogénique hypercritique pouvant être chargé en particules, notamment en utilisant
le dispositif de l'invention, par exemple pour le décapage, la texturation, le nettoyage, la
structuration et la préparation de surface d'une pièce.

On connaît différentes méthodes pour le traitement superficiel d'un matériau,
20 notamment pour son décapage.

Le sablage ou grenaillage utilise la projection par air comprimé très basse pression
(entre 5 et 20 bars) de particules abrasives de sable (sablage), de céramiques (par exemple
le corindon) ou de grenailles métalliques (grenaillage) en utilisant un outil appelé « pistolet ».
25 Les abrasifs sont ajoutés au flux d'air comprimé dans la chambre de mélange située dans le
pistolet de projection en utilisant un effet Venturi créé par la vitesse de l'air. Le mélange
particules-air est ensuite accéléré par la détente de l'air qui se produit dans un conduit appelé
« buse » dont la forme géométrique varie selon les applications. Les buses de projection
peuvent avoir une section transversale circulaire ou rectangulaire et leur longueur est
30 variable. Elle peut atteindre 300 mm pour certaines applications.

Le sablage ou grenaillage est utilisé notamment pour le décapage de peintures ou de
rouille, ou pour préparer une surface avant dépôt d'un revêtement ou de peinture. Elle permet
le travail en voie sèche et son pouvoir érosif est très intéressant pour des dépôts à faible force
35 d'adhésion métallurgique ou chimique, comme les peintures ou les oxydes non diffusés dans

les substrats. Il est possible de traiter de grandes surfaces et les machines de sablage ou de grenaillages peuvent être facilement transportées sur des chantiers.

L'inconvénient de cette méthode réside notamment dans le fait qu'elle produit un grand
5 volume de déchets toxiques qu'il faut ensuite traiter ou stocker. De plus, les poussières
générées par les projections d'abrasifs rendent le travail difficile dans ce milieu. Par ailleurs,
cette technique est inopérante pour des dépôts très adhérents (forte adhésion métallurgique
ou chimique) tels que les oxydes formés par diffusion d'oxygène dans les matériaux à base de
titane par exemple. De plus, elle n'est pas automatisable et elle présente des risques pour
10 l'opérateur, d'où l'obligation pour celui-ci de porter un équipement de protection individuelle.

On connaît également des techniques chimiques utilisant des acides ou des solvants
pour enlever des couches de peintures ou d'oxydes, y compris des oxydes durs diffusés dans
des substrats métalliques. Quand il s'agit du décapage d'oxydes très résistants diffusés dans
15 les substrats, tels que le TiO_2 (alpha-case) diffusé dans le titane ou les alliages de titane, tels
que le TA6V (Ti-6Al-4V), on utilise habituellement des acides forts, tels que le HNO_3 et le HF.

Cette méthode chimique est utilisée pour le décapage de revêtements organiques du
type peinture, résine, etc. ou pour enlever des oxydes métalliques. Elle permet de traiter des
20 pièces de formes complexes dans des bains d'acides ou de solvants.

Cependant, s'agissant d'un procédé par l'immersion à chaud, il présente des dangers
liés à la présence d'acides chauds. Les installations sont classées ICPE (installation classée
pour la protection de l'environnement) et nécessitent au moins une autorisation. Les bains
25 d'acides ou de solvants demandent un réglage fin et quotidien. Le retraitement des bains,
notamment ceux d'acide fluorhydrique, constitue un inconvénient supplémentaire de ce
procédé. L'installation d'une ligne de traitement est spécifique à chaque opération : une ligne
de décapage de la couche d'oxyde n'est pas compatible avec une ligne de décapage de
peinture sur des substrats sensibles.

30

Une troisième technique connue est la technique de décapage qui consiste à projeter
sur le matériau à traiter un jet d'azote dense supercritique cryogénique sous haute pression.
Le principe de ce procédé réside dans l'impact à grande vitesse (de 500 à 800 m/s) du jet
résultant de la détente de l'azote initialement présent sous haute pression (jusqu'à 3 800
35 bars) et basse température (jusqu'à -180°C).

Le dispositif nécessaire pour la mise en œuvre de cette technique comprend une chambre de mélange cylindrique munie d'un conduit d'entrée pour les particules et d'un orifice de sortie pour le jet chargé de particules. La chambre est serrée contre l'ouverture d'entrée d'un tube ou canon de focalisation en carbure de tungstène. Celui-ci est traversé par une conduite divisée en deux parties : une partie amont convergente de forme tronconique qui se poursuit par une partie aval de forme cylindrique formant un long orifice cylindrique de dimension de l'ordre du millimètre par lequel le gaz s'échappe pour se détendre à l'air libre et former le jet venant impacter le matériau à traiter.

Cette technique permet le décapage de peintures, de dépôts à base de polymères, de vernis ou de graisse, d'oxydes, y compris les oxydes à forte adhésion au substrat. Elle est également utilisée pour la préparation de surfaces avant le dépôt de peinture.

Elle permet un travail en voie sèche et en milieu sensible, elle ne crée pas de déchets additionnels et ne présente pas de danger pour les opérateurs ou pour l'environnement. Le pouvoir érosif élevé de cette technique permet d'enlever des dépôts à forte adhésion métallurgique ou chimique, comme les peintures ou les oxydes dans le substrat. Dans le même process, il est possible de prévoir une étape d'ébavurage ou de découpe. Avec un même générateur d'azote et un même robot, il est possible, grâce à des programmes et des réglages spécifiques, de traiter le titane ou ses alliages tels que le TA6V et de réaliser un décapage de peinture sur des substrats ou sur des pièces métalliques ou composites. De grandes surfaces peuvent être traitées de cette manière et il est possible de transporter la machine sur des chantiers.

La machine a cependant pour inconvénient que le canon de focalisation s'obture souvent de façon aléatoire. Cette tendance à se boucher ou à se colmater rend inefficace le système de traitement ou de décapage. Il arrive également que la conduite d'arrivée des particules abrasives se bouche par la formation de glace qui résulte du reflux dans cette conduite d'une partie du gaz cryogénique au lieu de s'écouler intégralement en aval dans le canon de focalisation. De plus, il faut attendre plusieurs minutes (5 min environ) avant l'aspiration des particules. En effet, au début du processus, le jet de gaz étant chaud, il occupe le volume de la chambre et empêche la formation du Venturi nécessaire à l'aspiration des particules. Il faut attendre un certain temps (plusieurs minutes) avant que le gaz devienne dense ou supercritique pour que le diamètre de son jet s'affine et se réduise en proportion avec le diamètre du tube ou canon de focalisation. Ce laps de temps est incompressible, car il correspond au refroidissement du jet d'azote dans la chambre de mélange pour former un flux

dense cylindrique dont le diamètre est au plus égal au diamètre de la conduite cylindrique de sortie du canon de focalisation. Il arrive souvent que les particules ne soient pas aspirées dans la chambre de mélange même après écoulement de la période de refroidissement du jet de gaz. Cela est dû à l'insuffisance de la dépression (Venturi) dans la chambre de mélange.

5 Un autre inconvénient réside dans le fait que la majeure partie des particules abrasives n'est pas aspirée au cœur du jet d'azote et de sorte que ces particules ne sont pas suffisamment accélérées par celui-ci : elles restent majoritairement dans une couche de gaz non dense qui enveloppe le jet de gaz dense ou supercritique. Il en résulte une performance très faible du traitement ou du décapage avec une faible largeur d'impact du jet sur la surface à traiter ou à
10 décaper. En fait, l'énergie du jet est concentrée au centre de l'impact et provoque un traitement ou un décapage non homogène : une première zone de sur-traitement ou de sur-décapage avec une dégradation du matériau substrat dans l'axe du jet et une deuxième zone périphérique de sous-traitement ou de sous-décapage, donc de traitement ou de décapage partiels. Enfin, le diamètre du jet libre d'azote chargé de particules abrasives est petit (entre 1
15 et 2 mm), il est proche du diamètre de l'orifice de sortie du canon de focalisation. Pour optimiser la zone de décapage, il faut augmenter la distance de tir qui peut atteindre entre 20 et 200 mm, ce qui conduit à la projection latérale de particules et à la pollution du poste de travail. L'augmentation de la distance de tir peut également réduire l'énergie du jet et son efficacité de traitement. Il en résulte un mauvais contrôle de la qualité de traitement et une
20 faible productivité. L'autre problème avec ce système utilisant le canon traditionnel à conduite de sortie cylindrique, réside dans l'augmentation de la densité d'énergie du jet en son centre et provoque un écrasement de la matière sous le jet. Cette déformation provoque un stress mécanique important sur la matière impactée et induit des contraintes résiduelles de compression dans la couche supérieure du matériau substrat traité. Le durcissement
25 superficiel qui en résulte est un problème dans certains processus industriels de finition par usinage mécanique par exemple.

L'objectif de la présente invention est d'améliorer la technique de traitement de surface par jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote
30 cryogénique hypercritique pouvant être chargé en particules, et d'éviter les inconvénients évoqués ci-dessus.

Cet objectif est atteint par un dispositif selon le préambule dans lequel le canon de focalisation est un canon de focalisation diffusion constitué d'un tube creux présentant trois
35 parties successives placées les unes derrière les autres, à savoir

- une partie convergente située du côté de l'ouverture d'entrée du canon de focalisation diffusion et dont la face interne, considérée dans le sens d'écoulement du jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique, est convergente,
- 5 - un col dont la face interne est cylindrique, et
- une partie divergente se terminant par l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion et dont la face interne, considérée dans le sens d'écoulement du jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique, est divergente.

10

La partie divergente permet la détente rapide du jet et une accélération des particules contenues dans celui-ci. Grâce au dispositif de l'invention, la vitesse de décapage ou de traitement de surface est multipliée par deux ou plus par rapport au procédé de l'état de la technique, ce qui réduit le temps de cycle et le coût de production. De plus, la qualité du

15 décapage ou du traitement est améliorée. L'angle de divergence de la partie divergente est adapté en fonction des besoins de sorte à plus ou moins augmenter la largeur d'empreinte ou d'impact du jet sur la surface à traiter ou à décaper. Comparé au jet d'azote provenant d'un canon de focalisation sans partie divergente, la largeur de l'empreinte ou d'impact du jet sur la surface à traiter ou à décaper peut être multipliée par trois ou plus pour l'enlèvement de

20 couches dures ou diffusées chimiquement dans le substrat, comme l'alpha-case dans de l'alliage de titane TA6V, ou multipliée par cinq ou plus pour l'enlèvement des couches d'oxydes non diffusés dans le substrat, dont l'oxyde de fer (corrosion). Par ailleurs, les problèmes de bouchage et de colmatage du jet, tels qu'on les connaît avec les dispositifs de l'état de la technique, sont supprimés. Le dispositif mécanique est interchangeable et il peut

25 être facilement monté sur les machines actuelles de jet d'azote cryogénique supercritique sous pression. Ainsi avec ce dispositif, il est possible de contrôler l'effort appliqué sur la surface et, en fonction des besoins souhaités, de moduler l'énergie de l'impact du jet sur le matériau à traiter pour modifier ou non ses propriétés mécaniques de surface. Pour cela, on pourra adapter la vitesse du jet et/ou la taille et les propriétés mécaniques des particules. Le

30 jet a une structure homogène sur sa surface d'impact. Par exemple on peut réduire considérablement l'écrasement de la matière impactée, ce qui induit peu ou pas de déformation de la surface impactée, et les contraintes résiduelles de compression sur la couche superficielle du matériau substrat traité, sont très faibles voire nulles. Ce résultat est intéressant, car le durcissement superficiel est maîtrisé et les opérations de finition par

35 usinage sont facilitées. Au contraire, il est également possible de réaliser par exemple un

martelage de la surface à traiter en choisissant des particules de gros diamètre et/ou une grande vitesse de jet.

L'angle de divergence de la face interne de la partie divergente est défini entre la
5 tangente à la surface et l'axe de révolution du canon de focalisation diffusion. Il peut être constant sur toute la longueur du canon. Il peut également varier. Dans ce cas, plus on s'écarte du col, plus l'angle de divergence diminue et l'effet de divergence est faible. La divergence est adoucie pour préparer le jet à quitter le canon de focalisation diffusion en formant un jet conique proche d'un cylindre. Cela peut se faire de façon continue ou de façon
10 graduelle.

Par conséquent, il se présente deux cas distincts :

- soit la divergence de la face interne de la partie divergente est continue entre le col et l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion,
- 15 - soit la divergence de la face interne de la partie divergente est discontinue entre le col et l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion.

Dans le premier cas, la divergence de la face interne de la partie divergente peut être constante entre le col et l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion de sorte que la
20 face interne de la partie divergente est de forme tronconique. La géométrie conique de la face interne est inscrite dans un cylindre formant sur toute sa longueur la face externe du canon de focalisation diffusion.

La divergence peut être continue sans pour autant être constante. La face interne de la
25 partie divergente peut être par exemple parabolique de sorte qu'au sortir du col, la divergence est maximale et diminue progressivement pour atteindre sa valeur minimale à la sortie du canon.

Dans la solution discontinue, la face interne de la partie divergente peut être divisée en
30 au moins deux tronçons successifs chacun de forme tronconique, l'angle de conicité de chaque tronçon, formé entre la génératrice du cône et l'axe de révolution, diminuant de plus en plus d'un tronçon à l'autre entre le premier tronçon adjacent au col et le dernier tronçon adjacent à la sortie du canon de focalisation diffusion. Dans un exemple de réalisation simple, il y a deux tronçons. Les tronçons n'ont pas nécessairement la même longueur.

Pour faciliter la fabrication du canon de focalisation diffusion, il est possible de diviser le canon de focalisation diffusion en deux pièces distinctes pouvant être assemblées ensemble. La première pièce comprend par exemple la partie convergente, le col et la partie amont de la partie divergente tandis que la deuxième pièce comprend la partie aval de la partie
5 divergente.

La divergence de la partie amont située dans la première pièce est de préférence supérieure ou égale à la divergence de la partie aval située dans la deuxième pièce. Ici aussi, la face interne de chaque partie peut être tronconique ou avoir une divergence non constante.
10

Conformément à l'invention, il est préférable que la chambre de mélange soit constituée par une paroi tubulaire, de préférence cylindrique ou elliptique, fermée d'un côté par une paroi amont munie d'un orifice d'entrée du jet et de l'autre côté par la paroi aval munie de l'orifice de sortie du jet, l'orifice d'entrée du jet, l'orifice de sortie du jet, la partie convergente, le col et
15 la partie divergente du canon étant alignés sur un axe commun traversant la chambre de mélange. Une telle chambre de mélange, avec toutes les caractéristiques qui suivent, peut être utilisée aussi bien avec un canon de focalisation diffusion selon l'invention, qu'avec un canon de focalisation classique.

Dans un mode de réalisation privilégié de l'invention, la plus grande largeur perpendiculaire à l'axe de la chambre de mélange est de préférence supérieure ou égale à la hauteur parallèle à l'axe de la chambre de mélange. Quand la chambre de mélange est cylindrique, la grande largeur correspond au diamètre du cylindre. Quand la chambre de mélange est elliptique, elle correspond au grand axe de l'ellipse. Dans certaines applications,
25 la hauteur de la chambre peut être supérieure à sa grande largeur. L'axe est de préférence décentré par rapport au centre de la paroi tubulaire. Cette configuration permet de créer une dépression en ambiance extrême avec présence de gaz sous une forme duplex : un jet dense ou supercritique cryogénique et un flux de gaz détendu en périphérie du jet dense. La chambre de mélange est assimilable à une bague d'injection de jet de gaz et de particules. La
30 forme géométrique de la bague d'injection permet de gérer l'état dual complexe de compression/détente provoqué par la détente rapide du jet d'azote, à la sortie de la buse, dans le volume de la chambre de mélange.

Quand le dispositif de l'invention doit être utilisé avec de l'azote liquide, de l'azote
35 cryogénique supercritique ou de l'azote cryogénique hypercritique sous pression chargé de particules, un conduit d'amenée pour les particules peut traverser la paroi tubulaire et

déboucher dans la chambre de mélange par un orifice d'entrée de particules. Afin d'éloigner l'entrée du flux de particules du jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique, il est préférable que la distance entre l'orifice d'entrée de particules et l'axe soit supérieure à la distance entre l'axe et la partie de la paroi tubulaire opposée à l'orifice d'entrée de particules. Afin que les particules n'entrent pas en collision de façon perpendiculaire avec le jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique, il est préférable que le conduit d'amenée de particules soit incliné en direction de la partie aval de la chambre de mélange.

Dans un développement de l'invention, un conduit d'entrée du jet traverse la paroi amont et débouche dans la chambre de mélange par l'orifice d'entrée du jet, le conduit d'entrée du jet étant aligné sur l'axe du jet. L'extrémité amont du conduit d'entrée du jet est munie d'une buse traversée par un orifice de section inférieure à la section du conduit d'entrée du jet. La surface amont de la buse est de préférence plane et perpendiculaire à l'axe du jet. La buse est disposée à la jonction entre un conduit, appelé tube de collimation faisant généralement partie du générateur d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique sous pression, et le conduit d'entrée du jet de telle manière que la face supérieure de la buse forme un fond plat par rapport à la paroi du tube de collimation. L'assemblage de la buse avec le tube de focalisation est réalisé avec un changement de section à angle droit. L'azote liquide, l'azote cryogénique supercritique ou l'azote cryogénique hypercritique sous pression doit passer dans le tube de collimation, traverser l'orifice de la buse et se détendre dans la chambre de mélange avant de se refocaliser dans le canon de focalisation diffusion. Il est à noter que la buse avec sa surface amont plane et perpendiculaire à l'axe du jet peut être utilisée également dans les dispositifs classiques, avec ou sans chambre de mélange selon l'invention, avec ou sans canon de focalisation diffusion de l'invention.

L'invention concerne également le canon de focalisation pour dispositif pour le traitement superficiel d'un matériau par un jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique pouvant être chargé de particules, ledit canon présentant une ouverture d'entrée et une ouverture de sortie. Conformément à l'invention, le canon de focalisation est un canon de focalisation diffusion constitué d'un tube creux présentant trois parties successives placées les unes derrière les autres, à savoir :

- une partie convergente située du côté de l'ouverture d'entrée du canon de focalisation diffusion et dont la face interne, considérée dans le sens d'écoulement du jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique, est convergente,

5 - un col dont la face interne est cylindrique, et

- une partie divergente se terminant par l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion et dont la face interne, considérée dans le sens d'écoulement du jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique, est divergente.

10

Ce canon de focalisation diffusion peut être utilisé avec une chambre de mélange. Il peut cependant être également utilisé directement sur le tube de collimation d'un générateur d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique sous pression si le jet n'est pas chargé de particules. Dans ce cas, il est préférable de placer dans
15 la course du jet une buse, par exemple à l'interface entre le tube de collimation et le canon de focalisation diffusion. Selon les besoins, l'ouverture d'entrée du canon peut être conçue pour être fixée à une chambre de mélange de sorte à être en contact fluide avec l'orifice de sortie de la chambre de mélange ou pour être fixée au tube de collimation du générateur d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique sous
20 pression de sorte à être en contact fluide avec l'orifice de sortie dudit tube de collimation.

Comme indiqué précédemment, la divergence de la face interne de la partie divergente peut être continue ou discontinue entre le col et l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion.

25

La divergence de la face interne de la partie divergente peut être constante entre le col et l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion de sorte que la face interne de la partie divergente est de forme tronconique. La divergence peut être continue sans pour autant être constante.

30

Dans la solution discontinue, la face interne de la partie divergente peut être divisée en au moins deux tronçons successifs chacun de forme tronconique, l'angle de conicité de chaque tronçon, formé entre la génératrice du cône et l'axe de révolution, diminuant de plus en plus d'un tronçon à l'autre entre le premier tronçon adjacent au col et le dernier tronçon
35 adjacent à la sortie du canon de focalisation diffusion.

Il est possible de diviser le canon de focalisation diffusion en deux pièces distinctes pouvant être assemblées ensemble. La première pièce comprend par exemple la partie convergente, le col et la partie amont de la partie divergente tandis que la deuxième pièce comprend la partie aval de la partie divergente. La divergence de la partie amont située dans la première pièce est de préférence supérieure ou égale à la divergence de la partie aval située dans la deuxième pièce. Ici aussi, la face interne de chaque partie peut être tronconique ou avoir une divergence non constante.

L'objectif de l'invention est également atteint par un procédé pour le traitement superficiel d'un matériau par un jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique pouvant être chargé de particules. Conformément à l'invention, le procédé prévoit les étapes suivantes consistant

- à introduire dans une chambre de mélange un jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique,
- à faire sortir le jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique de la chambre de mélange en le faisant passer dans un conduit de section convergente, puis dans un conduit de section constante, et ensuite dans un conduit de section divergente. Ces différents conduits assemblés, dans cet ordre, forment le canon de focalisation diffusion.

20

Il est à noter que si le jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique n'a pas besoin d'être chargé en particules, le procédé de focalisation diffusion de l'invention peut être utilisé directement, sans forcément passer par une chambre de mélange, notamment en focalisant diffusant un jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique sortant directement d'un générateur d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique sous pression. On pourra faire passer le jet dans une buse avant de le faire passer dans le conduit de section convergente.

L'azote liquide, l'azote cryogénique supercritique ou l'azote cryogénique hypercritique, éventuellement chargé en particules dans la chambre de mélange, est focalisé et comprimé dans la partie convergente du canon, puis il passe par le col cylindrique dans lequel il est homogénéisé et stabilisé avant d'être détendu rapidement et de façon contrôlée dans la partie divergente dont l'extrémité aval constitue l'outil d'application.

35

Des particules peuvent être introduites dans la chambre de mélange de sorte qu'elles se mélangent dans la chambre de mélange avec au moins une partie du jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique en formant un mélange jet de gaz / particules. Les particules sont de préférence aspirées dans la
5 chambre de mélange par un effet Venturi créé par le passage du jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique dans la chambre de mélange. Elles peuvent également être introduites par propulsion. Le jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique peut être injecté dans la chambre de mélange en passant à travers une buse
10 d'un orifice calibré.

Selon les applications envisagées,
les particules peuvent être de forme sphérique ou non sphérique ; et/ou
les particules peuvent être nano-structurées ; et/ou
15 les particules peuvent être à base de verre, de céramique, de métal, de polymère, de bois, de matières biologiques, ou composite ; et/ou
les particules peuvent être constituées d'un seul matériau ou d'au moins deux matériaux différents ; et/ou
les particules peuvent être d'une forme hybride, notamment une enveloppe d'un
20 matériau enrobant totalement ou partiellement un noyau constitué d'un autre matériau.

Le procédé de l'invention peut être utilisé pour le décapage d'oxydes, métalliques ou céramiques, notamment à forte adhésion au substrat, qu'ils soient diffusés dans le substrat, comme l'alpha-case dans l'alliage de titane TA6V ou l'alumine Al_2O_3 dans l'aluminium, ou non
25 diffusés. Il peut également servir pour le traitement ou la préparation de surfaces avant usinage ou avant le dépôt de couches fonctionnelles, telles que des revêtements métalliques ou non métalliques ou encore des peintures ou des polymères, ou encore pour le décapage de revêtement, en particulier des peintures, de dépôts de base polymères, de vernis ou de graisses. Il peut également servir pour la modification de la structure de la surface en
30 imprimant une texturation, pour créer une rugosité ou une topographie de surface particulière, ou encore pour le criblage de surfaces, notamment le martelage et l'écrouissage. Le procédé peut par ailleurs être utilisé pour la création d'une couche superficielle sur un substrat, notamment par incrustation de particules sur le substrat. Il est notamment possible en introduisant des particules métalliques (tels que des particules de cuivre, d'argent
35 d'aluminium, de fer ou d'alliages, comme des particules d'acier) ou non métalliques (tels que des particules de polymères, de bois ou de verre, voire des particules biologiques comme des

antibiotiques ou des produits pharmaceutiques) dans le jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique d'incruster mécaniquement ces particules dans un substrat métallique ou non métallique (par exemple en matière polymère, en matière élastomère, en bois ou en matière textile). De cette manière, 5 des particules peuvent être incrustées dans un substrat sans distorsion de la surface traitée et avec une répartition uniforme du dépôt sans surconcentration à certains endroits.

Une application particulièrement intéressante de cette incrustation est la métallisation de substrats polymères, composites à matrices polymères, élastomères, en bois ou textiles qui 10 leur confère une conductivité électrique, thermique, d'ondes électromagnétiques et/ou un aspect métallique. La couche de particules ainsi créée peut également servir de base pour un futur dépôt, par exemple par cold spray ou un autre procédé de dépôt de matières métalliques.

15 Une autre application intéressante est le dépôt de particules antibactériennes sur du bois ou des matières textiles conférant à ces substrats des propriétés antibactériennes.

Des exemples de réalisation de l'invention sont décrits ci-dessous en référence aux dessins qui montrent de façon schématique :

- 20 Fig. 1a une vue éclatée du dispositif de l'invention,
- Fig. 1b une coupe du dispositif de l'invention avec le canon de la figure 2a.
- Fig. 2a une coupe d'un canon de focalisation diffusion monobloc avec une face intérieure divergente continue,
- Fig. 2b une coupe d'un canon de focalisation diffusion monobloc avec une face intérieure divergente discontinue à deux étages, 25
- Fig. 2c une coupe d'un canon de focalisation diffusion multi-bloc avec une face intérieure divergente discontinue à deux étages,
- Fig. 3a une vue en perspective d'une chambre de mélange selon l'invention,
- Fig. 3b la chambre de mélange de la figure 3a vue en coupe longitudinale selon la coupe 30 E-E de la figure 3c,
- Fig. 3c la chambre de mélange de la figure 3a vue en coupe transversale selon la coupe D-D de la figure 3b.

L'invention concerne un dispositif et un procédé pour le traitement superficiel d'un 35 matériau par un jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique. Selon les applications recherchées, le jet sous pression

d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique peut être chargé de particules. La description qui suit est faite à l'exemple d'une utilisation d'un jet d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique chargé en particules. Cet exemple n'a pas d'effet limitatif.

5

Le dispositif montré sur les figures 1a et 1b se compose essentiellement des pièces suivantes :

- d'une chambre de mélange (10),
- d'un canon de focalisation diffusion (20),
- 10 - d'une buse (60),
- d'un écrou de serrage (50) permettant de fixer le canon de focalisation diffusion à la chambre de mélange.

La chambre de mélange (10) est raccordée à un générateur d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique sous pression par le biais
15 d'un tube de collimation (30). Quand le dispositif est utilisé avec de l'azote liquide, de l'azote cryogénique supercritique ou de l'azote cryogénique hypercritique sous pression chargé de particules, un tube d'amenée de particules (40) est raccordé à la chambre de mélange (10).

Le jet d'azote traverse le dispositif en passant successivement à travers le tube de
20 collimation (30), la buse (60), la chambre de mélange (10) et le canon de focalisation diffusion (20). Par convention, on utilise le terme « amont » pour les parties de ces pièces par lesquelles le jet d'azote entre dans ladite pièce, et le terme « aval » pour les parties par lesquelles le jet d'azote quitte la pièce.

25 Les figures 3a, 3b et 3c montrent la chambre de mélange (10) de forme tubulaire. Dans l'exemple présenté ici, cette chambre est cylindrique. Elle est constituée d'une paroi tubulaire (11) dont la face axiale interne est cylindrique. La paroi tubulaire est fermée à ses extrémités amont et aval par une paroi amont (12) et une paroi aval (13) respectivement, de préférence radiales.

30

Un conduit d'entrée du jet (14) traverse de part en part la paroi amont (12). Le conduit d'entrée du jet (14) débouche dans la chambre de mélange par un orifice d'entrée de chambre (141). Le tube de collimation (30) est fixé de façon étanche perpendiculairement à la surface plane supérieure de la buse (60) reçue dans un logement (142) prévu à l'extrémité
35 extérieure du conduit d'entrée du jet (14).

Un conduit de sortie du jet (15) traverse de part en part la paroi aval (13). Il débouche dans la chambre de mélange par un orifice de sortie de chambre (151) de diamètre (d_1) inférieur au diamètre (d_2) du conduit de sortie du jet (15). Le conduit de sortie du jet (15) sert de guide et de logement pour le canon de focalisation diffusion (20).

5

De la face extérieure de la paroi aval (13) saille vers l'extérieur de la chambre un embout de fixation (17) traversé par un conduit (171) coaxial et de même diamètre que le conduit de sortie du jet (15) : les deux conduits (15, 171) sont dans l'alignement et la continuité l'un de l'autre. L'embout de fixation (17) sert à fixer le canon de focalisation diffusion (20) à la chambre de mélange (10) par le biais de l'écrou de serrage (50). Le conduit de sortie de jet (15) et le conduit (171) de l'embout de fixation (17) forment ainsi ensemble un conduit porte-canon (15, 171). La face externe de l'extrémité amont du canon de focalisation diffusion (20) pénètre dans les conduits (15, 171) et vient en butée en appui contre la paroi entourant l'ouverture de sortie (151).

15

Le conduit d'entrée du jet (14) et le conduit de sortie du jet (15) sont de préférence cylindriques. Ils sont alignés, ainsi que les orifices d'entrée de chambre (141) et de sortie de chambre (151), le tube de collimation (30) et le conduit (171) de l'embout de fixation (17), sur un même axe (A) qui traverse la chambre de mélange. L'axe (A) correspond au parcours du jet d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique. La face interne axiale de la paroi tubulaire (11) est de préférence parallèle à l'axe (A).

20

La paroi cylindrique (11) est traversée de part en part par un conduit d'amenée de particules (16) servant à introduire les particules solides dans le jet d'azote. Le conduit d'amenée de particules (16) est de préférence incliné, par rapport au plan perpendiculaire à l'axe (A), en direction de la partie aval de la chambre de mélange. Les particules abrasives sont aspirées dans la chambre de mélange par exemple par effet Venturi du fait de la circulation de l'azote traversant la chambre de mélange (10), ce qui provoque l'entrée dans la chambre d'un flux d'air à travers le conduit (16). Les particules peuvent également être poussées à l'intérieur de la chambre de mélange par un système d'injection d'air.

30

La buse (60) est placée à l'entrée (142) du conduit d'entrée du jet (14). Elle est percée d'un orifice (61) calibré. Elle est disposée à la jonction entre le tube de collimation (30) et le conduit d'entrée du jet (14). Sa face amont est plane et perpendiculaire à l'axe (A) du tube de collimation (30), de telle manière que cette face amont de la buse et l'extrémité aval du tube

35

de collimation forment un fond plat. La chambre de mélange est vissée serrée contre le tube de collimation (30).

La chambre de mélange (10), qui joue le rôle d'une bague d'injection, présente une
5 géométrie particulière conçue pour permettre de créer une dépression suffisante en ambiance
extrême avec présence de gaz périphérique détendu entourant le jet d'azote liquide, d'azote
cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique dense sortant de la buse (60).
La forme géométrique de la chambre de mélange (10) doit être capable de gérer de façon
optimale l'état dual complexe formé d'une part par le gaz périphérique détendu et d'autre part
10 par le jet de gaz dense sous pression dans le volume intérieur de la chambre de mélange.
Cette chambre de mélange (10) se caractérise par son diamètre (D) et sa hauteur (H). Le
diamètre est mesuré perpendiculairement à l'axe (A) tandis que la hauteur est mesurée
parallèlement à l'axe (A). Le conduit d'amenée des particules (16) débouche dans la chambre
de mélange en un point où la paroi cylindrique (11) est la plus éloignée de l'axe (A), à savoir à
15 une distance (D1). Là où la paroi cylindrique (11) est la plus proche de l'axe (A), en
l'occurrence à l'opposé du conduit d'amenée des particules (16), elle se trouve à une distance
(D2) de l'axe (A). Le diamètre (D) est donc égal à la somme de ces deux distances (D1, D2).
Le diamètre (D) est de préférence égal ou supérieur à la hauteur (H), mais le diamètre (D)
peut également dans certains cas être inférieur à la hauteur (H). La chambre se caractérise
20 également par le diamètre (d1) de son ouverture de sortie (151).

Grâce à la position excentrée de l'axe (A) du jet d'azote, éloignée de l'orifice d'entrée
(161) du conduit d'amenée de particules (16), on diminue considérablement l'effet
perturbateur sur le jet d'azote et son alignement sur l'axe (A), provoqué par le flux de
25 particules associé à l'air entrant latéralement dans la chambre. En effet, grâce à cette
excentricité de l'axe (A), la vitesse du flux de particules et d'air est ralentie convenablement,
ce qui permet aux particules et à l'air entrant de pénétrer tout d'abord dans la couche
extérieure d'azote détendu (enveloppe de mélange) qui entoure le jet dense supersonique
supercritique dans la chambre de mélange qu'il traverse. Il y a donc formation d'un mélange
30 complexe composé des particules, du gaz détendu périphérique et du jet de gaz
supercritique. Le mélange obtenu dans les conditions de l'invention suit un processus
progressif vers l'axe du jet en aval en conservant les propriétés thermomécaniques du jet. Cet
effet est amplifié, car favorisé par l'inclinaison du conduit d'amenée de particules (16) en
direction de la partie aval du jet et de la chambre de mélange, les particules entrant en
35 contact avec le jet d'azote selon un angle d'incidence orienté qui converge vers l'aval de la
chambre. La position excentrée de l'axe (A) du jet par rapport à l'orifice d'amenée des

particules (161) évite également le problème de formation de glace dans la conduite d'amenée des particules.

L'orifice (61) de la buse (60) sert à accélérer le jet sous pression d'azote liquide, d'azote
5 cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique avant son entrée dans la
chambre de mélange. Généralement, les faces amont des buses de l'état de la technique sont
coniques en se rétrécissant dans le sens de circulation du gaz pour finir par l'orifice. Au
contraire, dans l'invention, la face amont de la buse forme une surface plane perpendiculaire
à l'axe (A) du jet de gaz. De plus, elle est disposée au plus près possible de la paroi interne
10 cylindrique du tube de collimation (30). Idéalement, la surface amont de la buse doit être dans
le prolongement direct de la partie cylindrique du tube de collimation. En pratique, il peut être
nécessaire, pour une bonne étanchéité, que la surface de contact entre le tube de collimation
et la chambre de mélange soit conique de sorte que la face amont de la buse, tout en étant au
plus près possible de la partie cylindrique aval du tube de collimation, ne soit pas tout à fait en
15 contact avec celle-ci. On a constaté un meilleur résultat en termes d'aspiration de particules et
d'énergie avec un tel jet mieux maîtrisé et présentant moins de perturbations.

Le canon de focalisation diffusion (20) est conçu pour jouer deux rôles : d'une part
garantir l'équilibre mécanique dans la chambre de mélange (10) en créant à l'intérieur de
20 celle-ci une dépression constante et suffisante, et d'autre part former un jet d'azote chargé de
particules à densité d'énergie répartie de façon homogène à la sortie du canon de focalisation
diffusion (20). Pour cela, le canon (20) est constitué d'un tube creux présentant, placées les
unes derrière les autres dans le sens de circulation du jet d'azote, trois parties successives, à
savoir une partie convergente (21), un col (22) et une partie divergente (23). Dans la partie
25 convergente, le jet de gaz et de particules est focalisé et re-comprimé partiellement.
L'enveloppe d'azote détendu avec les particules qu'elle contient et qui entourent le jet
supercritique est comprimée et dirigée vers le col. Le jet passe ensuite dans le col (22) de
forme cylindrique dans lequel les particules pénètrent dans le cœur du jet sous pression
d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique afin
30 d'obtenir un mélange gaz / particules optimal et améliorer le transfert de quantité de
mouvement du jet de gaz vers les particules en aval, ce qui permet d'accélérer efficacement
les particules. Le jet ainsi homogénéisé et stabilisé est ensuite détendu rapidement de façon
contrôlée dans la partie divergente de diffusion (23) de volume et de forme particuliers
permettant d'obtenir une accélération maximale des particules et leur répartition de façon
35 homogène et idéale dans le jet. Cette configuration conduit idéalement à maximiser l'énergie
thermomécanique du jet de gaz chargé de particules et de la répartir de façon homogène sur

la zone d'impact pour obtenir une efficacité améliorée de l'enlèvement de matière y compris les matières dures diffusées dans le substrat dont les oxydes de type alpha-case TiO_2 diffusé dans le titane et ses alliages TA6V et l'alumine Al_2O_3 diffusée dans l'aluminium et ses alliages. Le jet sortant du canon de focalisation diffusion est très légèrement conique. Sa détente, au lieu de se faire à la sortie du canon comme avec les canons de l'état de la technique, se fait progressivement et de façon contrôlée dans la partie divergente. Il en résulte également une empreinte du jet plus grande et un meilleur contrôle de sa géométrie (largeur, profondeur) à l'impact avec la surface du matériau à traiter.

Les figures 2 montrent trois exemples de réalisation du canon de focalisation diffusion.

La partie convergente (21) est située dans la section amont du canon de focalisation diffusion. Considérée dans le sens d'écoulement du gaz, sa face interne est convergente. Cette partie convergente permet de diriger convenablement vers le col (22) le gaz dense ainsi que le gaz périphérique et les particules qui entourent le jet supercritique, et ainsi de favoriser la dépression dans la chambre de mélange (10). Elle permet également de focaliser le jet. La partie convergente (21) est de préférence de forme tronconique.

La partie convergente (21) se poursuit par un col (22) dont la face interne est cylindrique. Ce col sert à stabiliser le jet d'azote, à favoriser la pénétration des particules dans le jet d'azote, et à homogénéiser la densité d'énergie cinétique du jet diphasique de gaz chargé de particules. Il permet d'obtenir un mélange gaz / particules optimal et de favoriser le transfert de quantité de mouvement du jet de gaz vers les particules en aval, ce qui permet d'accélérer efficacement les particules. Le diamètre et la longueur du col sont des paramètres critiques : d'une part le diamètre du col (22) agit directement sur la dépression obtenue dans la chambre de mélange (10) et détermine ainsi l'équilibre mécanique du mélange gaz, particules, jet d'azote, d'autre part la longueur du col (22) agit à la fois sur la physique du jet et sur son énergie thermomécanique à l'entrée de la partie divergente du canon.

Le col cylindrique (22) se poursuit par la partie divergente (23) située dans la section aval du canon de focalisation diffusion. Considérée dans le sens d'écoulement du gaz, sa face interne est divergente. Il s'agit de la partie terminale du canon de focalisation diffusion. Elle définit et détermine l'enveloppe physique de la diffusion du jet et accompagne sa détente de manière à obtenir une densité d'énergie maximale répartie de façon homogène en direction radiale. Ainsi, le jet de gaz chargé de particules a une géométrie circulaire de diamètre maximal et de densité énergétique thermomécanique homogène. Dans les exemples

présentés sur les figures 2a à 2c, la face interne de la partie divergente présente une forme tronconique.

Comme le montre la figure 2a, le diamètre de la partie divergente (23) peut diminuer de façon continue et constante conférant ainsi à cette partie divergente une forme tronconique. Il serait possible d'avoir une partie divergente continue mais variable, par exemple en conférant à la face interne de la partie divergente une forme parabolique. À titre d'exemple non limitatif, un tel canon de focalisation diffusion peut avoir les dimensions suivantes :

	Longueur totale :	160 mm
10	Longueur de la partie convergente (21) :	35 mm
	Longueur du col (22) :	2,6 mm
	Longueur de la partie divergente (23) :	122,4 mm
	Angle de convergence de la partie convergente (21) :	5,465°
	Angle de divergence de la partie divergente (23) :	1,57°
15	Diamètre du col (22) :	1,80 mm
	Diamètre d'entrée et de sortie du canon :	8,50 mm
	Diamètre externe du canon :	10 mm

Il est cependant également possible de diviser la partie divergente (23) en au moins deux tronçons successifs de divergence décroissante (23a, 23b). Ici aussi, la divergence de chaque tronçon peut être constante, c.-à-d. que la face interne du tronçon est tronconique, ou variable. Dans l'exemple présenté ici, l'angle de conicité défini entre la génératrice du cône et l'axe de révolution diminue de plus en plus d'un tronçon à l'autre entre le premier tronçon (23a) situé juste après le col (22) et le dernier tronçon (23b) situé du côté de la sortie aval du canon. Dans l'exemple présenté aux figures 2b et 2c, la partie divergente est divisée en deux tronçons tronconiques (23a, 23b). Les tronçons n'ont pas nécessairement la même longueur.

Dans l'exemple de la figure 2c, le canon de focalisation diffusion (20) est constitué de deux pièces distinctes (20a, 20b) assemblées ensemble, de préférence de façon à pouvoir être séparée. La première pièce (20a) présente la partie convergente (21), le col (22) et la partie amont (23a) de la partie divergente (23). La deuxième pièce (20b) est fixée sur la première (20a), par exemple emmanchée, par une section de fixation (23c) qui entoure au moins l'extrémité libre de la partie amont (23a). Le diamètre de l'extrémité aval de la partie amont (23a) est identique au diamètre amont de la partie aval (23b). La conicité de la partie aval (23b) peut être identique à celle de la partie amont (23a), mais elle est de préférence inférieure, de sorte à former un canon semblable à celui de l'exemple de la figure 2b. Cette

solution en deux pièces (20a, 20b) a pour intérêt de faciliter la fabrication du canon de focalisation diffusion et de permettre d'adapter la conicité en fonction des besoins de chaque application.

5 Le canon de focalisation diffusion peut être utilisé également avec un jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique sans apport de particules. Dans ce cas, la chambre de mélange n'a pas besoin d'avoir de conduit d'amenée de particules. Il n'est pas non plus nécessaire que l'axe (A) du jet soit excentré par rapport à la chambre tubulaire (11). Une autre solution consiste à renoncer entièrement à la
10 chambre de mélange (10) et à fixer le canon de focalisation diffusion (20) directement à la sortie du tube de collimation (30) avec de préférence interposition d'une buse (60).

Dans l'exemple de réalisation présenté ici, la chambre de mélange (10) est de forme cylindrique. Il serait possible pour éviter les espaces morts de donner à sa section
15 transversale (perpendiculaire à l'axe (A) du jet) une forme plus allongée, par exemple une forme elliptique, ou rectangulaire avec les petits côtés arrondis. Les particules qui ne sont pas aspirées dans le jet retombent sur la paroi tubulaire (11) de la chambre et risquent de s'accumuler. En choisissant une forme allongée pour la section transversale, on force les
20 particules à retourner soit vers le jet (si elles s'accumulent dans la partie D2), soit vers le flux de particules aspirées (si elles s'accumulent dans la partie D1). Dans le cas d'une chambre tubulaire allongée, le conduit d'amenée des particules débouche dans une des deux extrémités de la forme allongée et l'axe (A) du jet est décalé vers l'autre extrémité allongée.

Si l'azote liquide, l'azote cryogénique supercritique ou l'azote cryogénique hypercritique
25 sous pression est chargé en particules, on pourra utiliser des particules de forme sphérique ou non sphérique ou nano-structurées, qui pourront être à base de verre, de céramique, de métal, de polymère ou en composite. Les particules peuvent être constituées d'un seul matériau ou d'au moins deux matériaux différents. Sans être limitatif, les particules peuvent être d'une forme hybride par exemple une enveloppe d'un matériau enrobant totalement ou
30 partiellement un noyau constitué d'un autre matériau.

La chambre de mélange (10) est de préférence réalisée en acier inoxydable, par exemple en acier inoxydable 316L. Le canon de focalisation diffusion (20) est de préférence réalisé en carbure, notamment en carbure de tungstène. La buse (60) est généralement
35 réalisée en diamant, en saphir, en carbure de tungstène.

La buse (60) pourrait être placée dans le tube de collimation (30), de préférence à son extrémité aval, plutôt que dans le conduit d'entrée de l'azote liquide, de l'azote cryogénique supercritique ou de l'azote cryogénique hypercritique (14).

5 Comme cela a été dit précédemment, le diamètre et la longueur du col (22) sont des paramètres importants. Ils sont choisis en fonction du type d'application et de l'énergie du jet souhaitée. Le diamètre du col (22) tient également compte, le cas échéant, de la taille des particules utilisées. Selon les besoins, la taille des particules peut varier de 1 à 1 000 μm pour
 10 du décapage ou pour créer une rugosité ou une topographie de surface, ou de la texturation, voire aller jusqu'à 3 mm ou plus pour du martelage ou de l'écrouissage. Pour du décapage ou pour créer de la rugosité ou de la texturation de surface, le diamètre du col peut être choisi entre 1 et 3 mm avec ou sans particules. Pour une application de martelage ou d'écrouissage, le diamètre du col doit être plus grand (jusqu'à 5 mm ou plus). Ces valeurs sont indiquées à titre d'exemple et n'ont pas de valeur limitative. La longueur du col a un effet sur la vitesse
 15 des particules, donc sur l'énergie cinétique du jet. Jusqu'à une certaine longueur, plus le col est long, meilleure est l'énergie. Par exemple, des longueurs comprises entre 2 et 50 mm ont donné de bons résultats. Dans le cas d'un col particulièrement long, le modèle de canon en deux pièces (cf. fig. 2c) est à privilégier. Dans ce cas, la première pièce (20a) pourra n'avoir que la partie convergente (21) et le col (22), tandis que la deuxième pièce (20b) pourra avoir
 20 toute la partie divergente (23).

Le dispositif de l'invention, et notamment la chambre de mélange, peuvent être utilisés verticalement comme dans la figure 3b, horizontalement ou de façon plus générale dans n'importe quelle orientation spatiale.

25

Grâce au dispositif de l'invention, la vitesse de décapage ou de traitement de surface est multipliée par un facteur supérieur à deux, la surface traitée est homogène et plus grande par rapport au procédé de l'état de la technique ce qui réduit le temps de cycle et le coût de production. La performance du procédé permet d'enlever les couches des matières des plus
 30 tendres aux plus dures dont les couches d'oxydes diffusés chimiquement dans les substrats tels que l'alpha-case du Titane et de ses alliages ou de l'alumine.

Liste des références :

- 1 Dispositif
- 35 10 Chambre de mélange
- 11 Paroi tubulaire, de préférence cylindrique ou elliptique

- 12 Paroi amont
- 13 Paroi aval
- 14 Conduit d'entrée de l'azote liquide, de l'azote cryogénique supercritique ou de l'azote cryogénique hypercritique sous pression
- 5 141 Orifice d'entrée de l'azote liquide, de l'azote cryogénique supercritique ou de l'azote cryogénique hypercritique sous pression dans la chambre de mélange
- 142 Logement de la buse à l'entrée du conduit d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique sous pression
- 10 15 Conduit de sortie de l'azote liquide, de l'azote cryogénique supercritique ou de l'azote cryogénique hypercritique sous pression
- 151 Orifice de sortie de l'azote liquide, de l'azote cryogénique supercritique ou de l'azote cryogénique hypercritique sous pression de la chambre de mélange
- 15 16 Conduit d'amenée des particules
- 161 Orifice d'entrée des particules dans la chambre de mélange
- 17 Embout porte-canon
- 171 Conduit de l'embout porte-canon
- 20 D Largeur (diamètre intérieur quand la chambre est cylindrique) de la chambre de mélange
- D1 Distance entre l'orifice d'entrée des particules et l'axe du jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique (excentricité d'aspiration du côté arrivée des particules)
- 25 D2 Distance de l'axe du jet à la paroi tubulaire à l'opposé de l'orifice d'entrée des particules
- H Hauteur intérieure de la chambre de mélange
- d1 Diamètre de l'orifice de sortie de la chambre de mélange
- 30 d2 Diamètre du conduit porte-canon
- A Axe du jet sous pression d'azote liquide, d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique
- 20 Canon de focalisation diffusion
- 35 20a Première pièce du canon de focalisation diffusion
- 20b Deuxième pièce du canon de focalisation diffusion

- 21 Partie convergente
- 22 Col
- 23 Partie divergente
 - 23a Tronçon amont
 - 5 23b Tronçon aval
 - 23c Embout de fixation de la deuxième pièce
- 30 Tube de collimation
 - 31 Extrémité aval
- 40 Tube d'amenée de particules
- 10 50 Écrou de serrage
- 60 Buse
- 61 Orifice d'injection

Revendications

1. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion dans un dispositif pour le traitement superficiel d'un matériau par un jet sous pression,

le canon de focalisation diffusion présentant une ouverture d'entrée et une ouverture de sortie, le jet sous pression devant traverser le canon de focalisation de l'ouverture d'entrée à l'ouverture de sortie,

le canon de focalisation diffusion étant constitué d'un tube creux présentant trois parties successives placées les unes derrière les autres:

une partie convergente située du côté de l'ouverture d'entrée du canon de focalisation diffusion et dont la face interne, considérée dans le sens d'écoulement du jet sous pression, est convergente,

un col dont la face interne est cylindrique, et

une partie divergente se terminant par l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion et dont la face interne, considérée dans le sens d'écoulement du jet sous pression, est divergente,

dans laquelle le jet sous pression est un jet sous pression d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique.

2. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon la revendication 1, dans laquelle :

le dispositif comprend une chambre de mélange fermée par une paroi aval dans laquelle est réalisé un orifice de sortie,

l'ouverture d'entrée du canon est conçue pour être fixée à la chambre de mélange en étant en contact fluide avec l'orifice de sortie de la chambre de mélange.

3. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans laquelle la divergence de la face interne de la partie divergente du canon de focalisation diffusion est continue entre le col et l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion.

4. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon la revendication 3, dans laquelle la divergence de la face interne de la partie divergente est

constante entre le col et l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion de sorte que la face interne de la partie divergente est de forme tronconique.

5. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans laquelle la divergence de la face interne de la partie divergente est discontinue entre le col et l'ouverture de sortie du canon de focalisation diffusion.

6. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon la revendication 5, dans laquelle la face interne de la partie divergente est divisée en au moins deux tronçons successifs chacun de forme tronconique, l'angle de conicité de chaque tronçon, formé entre la génératrice du cône et l'axe de révolution, diminuant de plus en plus d'un tronçon à l'autre entre le premier tronçon adjacent au col et le dernier tronçon adjacent à la sortie du canon de focalisation diffusion.

7. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans laquelle le canon de focalisation diffusion est constitué de deux pièces distinctes configurées pour être assemblées ensemble, la première pièce comprenant la partie convergente, le col et la partie amont de la partie divergente, et la deuxième pièce comprenant la partie aval de la partie divergente.

8. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon la revendication 7, dans laquelle la divergence de la partie amont située dans la première pièce est supérieure ou égale à la divergence de la partie aval située dans la deuxième pièce.

9. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 7 et 8, dans laquelle la face interne de la partie amont et la face interne de la partie aval sont chacune de forme tronconique.

10. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 2 à 9, dans laquelle la chambre de mélange est constituée par une paroi tubulaire, fermée d'un premier côté par une paroi amont munie d'un orifice d'entrée du jet et d'un second côté par la paroi aval munie de l'orifice de sortie du jet,

l'orifice d'entrée, l'orifice de sortie, la partie convergente, le col et la partie divergente du canon étant alignés sur un axe commun traversant la chambre de mélange.

11. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon la revendication 10, dans laquelle la paroi tubulaire est cylindrique ou elliptique.

12. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 10 et 11, dans laquelle l'axe commun est décentré par rapport au centre de la paroi tubulaire.

13. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, dans laquelle une plus grande largeur perpendiculaire à l'axe commun de la chambre de mélange est supérieure ou égale à une la hauteur parallèle à l'axe commun de la chambre de mélange.

14. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, dans laquelle plus grande largeur perpendiculaire à l'axe commun de la chambre de mélange est inférieure à une hauteur parallèle à l'axe commun de la chambre de mélange.

15. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, dans laquelle un conduit d'amenée de particules traverse la paroi tubulaire et débouche dans la chambre de mélange par un orifice d'entrée de particules.

16. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon la revendication 15, dans laquelle la distance entre l'orifice d'entrée de particules et l'axe (A) étant supérieure à la distance (D2) entre l'axe (A) et la partie de la paroi tubulaire opposée à l'orifice d'entrée de particules.

17. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 15 et 16, dans laquelle le conduit d'amenée de particules est incliné en direction de la partie aval de la chambre de mélange.

18. Utilisation d'un canon de focalisation diffusion selon l'une quelconque des revendications 10 à 17, dans laquelle un conduit d'entrée du jet traverse la paroi amont et débouche dans la chambre de mélange par l'orifice d'entrée, le conduit d'entrée du jet étant aligné sur l'axe (A), l'extrémité amont du conduit d'entrée du jet étant munie d'une buse traversée par un orifice de section inférieure à la section du conduit d'entrée du jet, la surface amont de la buse étant plane et perpendiculaire à l'axe (A).

19. Utilisation d'un canon de focalisation selon l'une quelconque des revendications 1 à 18,

pour le décapage d'oxydes métalliques ou céramiques,
pour le décapage à forte adhésion au substrat,
pour le décapage de l'alpha-case du Titane et ses alliages et l'alumine,
pour le décapage de revêtements,
pour le décapage des peintures,
pour la préparation de surfaces avant usinage ou avant le dépôt de couches fonctionnelles,
pour la texturation de surface,
pour créer de la rugosité ou de l'impression topographique de surface,
pour le criblage de surfaces,
pour le martelage et l'écrouissage,
pour la création d'une couche superficielle sur un substrat,
pour la création d'une couche superficielle sur un substrat par incrustation de particules sur le substrat.

20. Utilisation d'un canon de focalisation selon l'une quelconque des revendications 1 à 19, dans laquelle les particules sont au moins l'un de :

de forme sphérique ou non sphérique ;
nano-structurées ;
à base de verre, de céramique, de métal, de polymère, de bois ou de matières biologiques, ou composite,
constituées d'un seul matériau ou d'au moins deux matériaux différents,

d'une forme hybride, et
 sous la forme d'une enveloppe d'un matériau enrobant totalement
 ou partiellement un noyau constitué d'un autre matériau.

21. Procédé pour le traitement superficiel d'un matériau par un jet sous pression pouvant être chargé de particules, comprenant les étapes de :

introduire dans une chambre de mélange un jet sous pression d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique,
 faire sortir le jet sous pression d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique de la chambre de mélange en le faisant passer dans un conduit de section convergeant, puis dans un conduit de section constante, et ensuite dans un conduit de section divergente.

22. Procédé selon la revendication 21, comprenant les étapes de :

- introduire dans la chambre de mélange le jet sous pression d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique, de sorte à former une couche extérieure d'azote détendu qui entoure le jet dense d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique,
- introduire des particules dans la chambre de mélange de sorte qu'elles pénètrent dans la couche extérieure d'azote détendu,
- faire sortir le jet sous pression d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique de la chambre de mélange en le faisant passer dans un conduit de section convergeant, puis dans un conduit de section constante, et ensuite dans un conduit de section divergente,

les particules étant mélangées progressivement dans la partie centrale du jet sous pression de sorte que la densité d'énergie des particules est répartie de façon homogène dans le jet sous pression à la sortie du canon de focalisation diffusion.

23. Procédé selon l'une quelconque des revendications 21 et 22, dans lequel au moins l'un de : i) des particules sont introduites dans la chambre de mélange de sorte qu'elles se mélangent dans la chambre de mélange avec au moins une partie du jet sous pression d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique en formant un mélange jet de gaz et de particules, et ii) le jet sous pression d'azote

cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique est injecté dans la chambre de mélange en passant à travers une buse d'un orifice calibré.

24. Procédé selon la revendication 23, dans lequel des particules sont introduites dans la chambre de mélange de sorte qu'elles se mélangent dans la chambre de mélange avec au moins une partie du jet sous pression d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique en formant un mélange jet de gaz et de particules, les particules étant aspirées dans la chambre de mélange par un effet Venturi créé par le passage du jet sous pression d'azote cryogénique supercritique ou d'azote cryogénique hypercritique dans la chambre de mélange, ou étant introduites par propulsion.

25. Procédé selon l'une quelconque des revendications 21 à 24, dans lequel les particules sont au moins l'un de :

- de forme sphérique ou non sphérique ;
- nano-structurées ;
- à base de verre, de céramique, de métal, de polymère, de bois ou de matières biologiques, ou composite,
- constituées d'un seul matériau ou d'au moins deux matériaux différents,
- d'une forme hybride, et
- sous la forme d'une enveloppe d'un matériau enrobant totalement ou partiellement un noyau constitué d'un autre matériau.

Fig. 1a

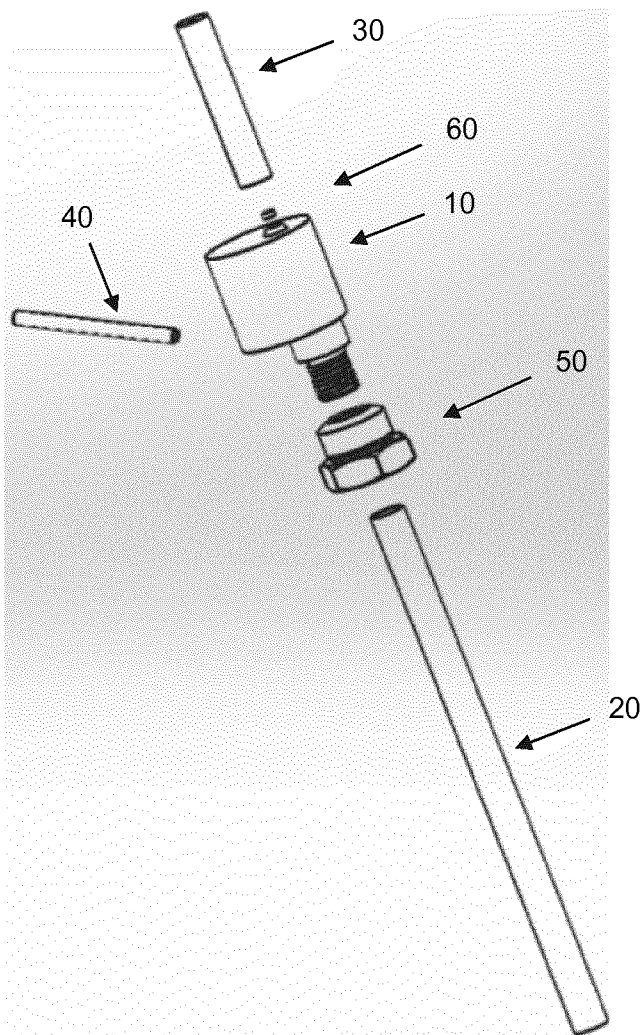
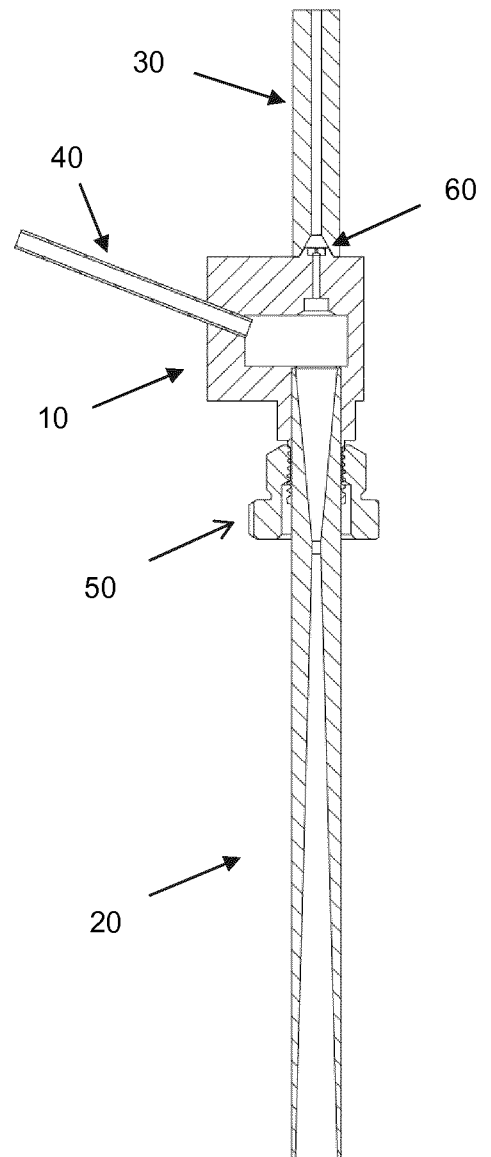


Fig. 1b



2/4

Fig. 2a

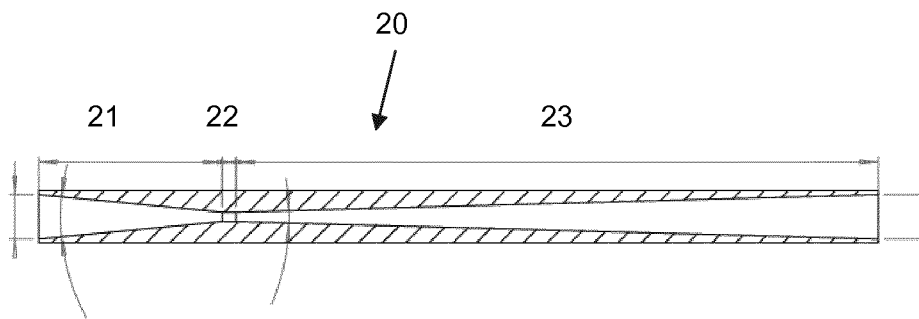
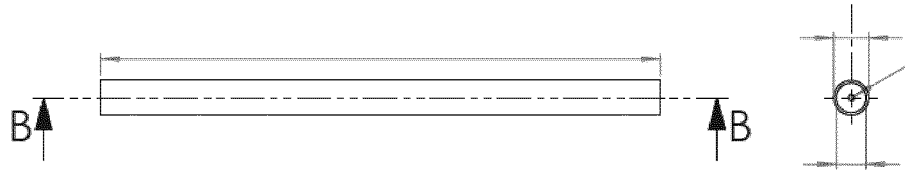
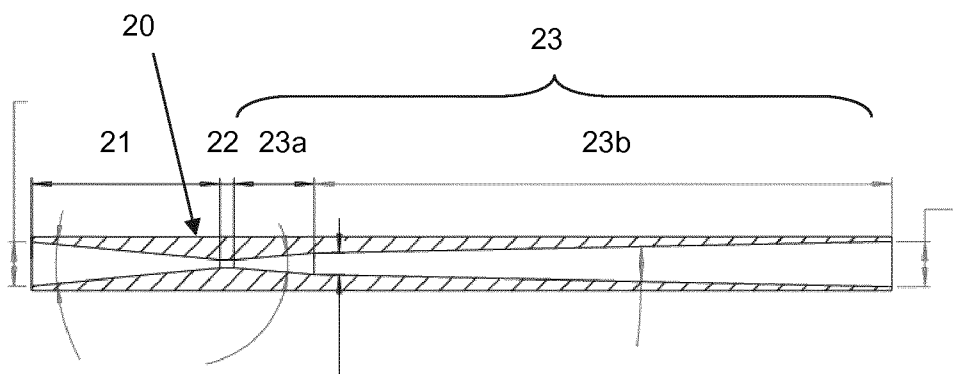
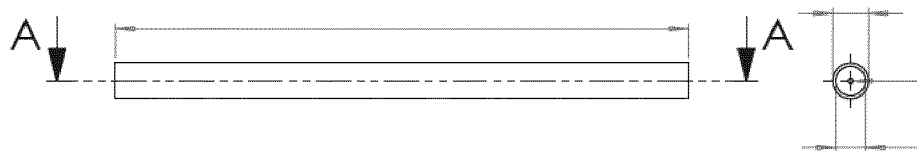
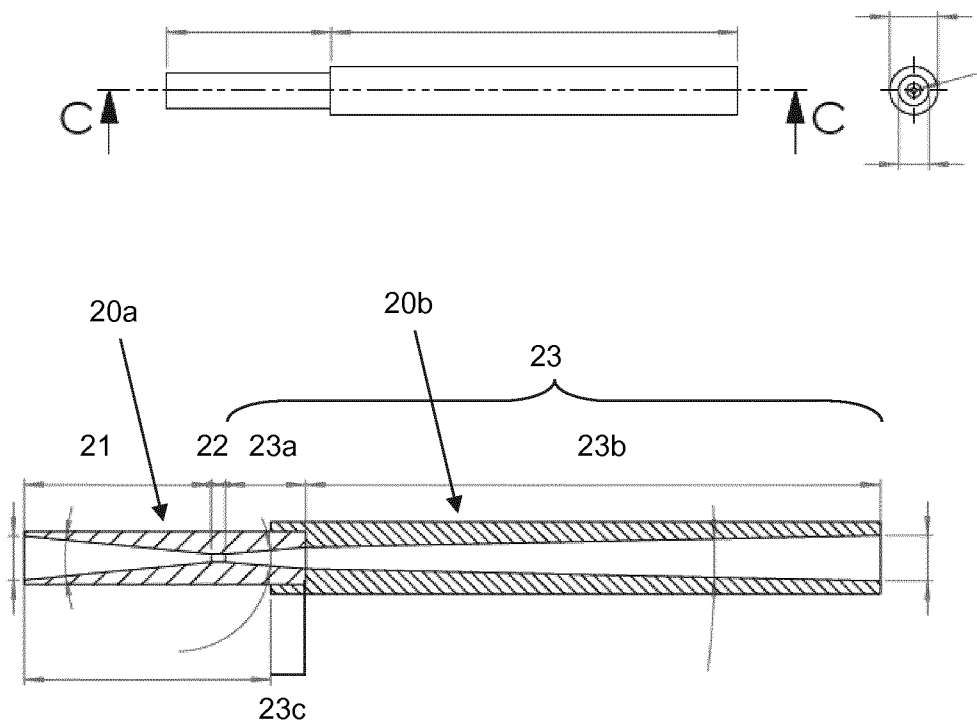


Fig. 2b



3/4

Fig. 2c



4/4

