

La présente invention concerne le domaine de la coulée continue de fils de très faible diamètre, ou filaments, obtenus directement à partir de métal liquide.

Les dernières années ont vu le développement d'un procédé de coulée permettant d'obtenir, directement à partir de métal liquide, des filaments métalliques prêts à l'emploi, de longueur indéfinie, de section substantiellement circulaire et de diamètre dit "micrométrique", c'est à dire de quelques centaines de μm , par exemple de 150 à 400 μm , mais pouvant descendre jusqu'à 80 μm environ, voire moins. Ce procédé est décrit notamment dans le Brevet Européen EP 0039169. Il consiste à former un jet de métal à partir d'un réservoir de métal liquide, ce réservoir étant mis sous pression et muni de moyens de chauffage et d'une busette de sortie dont le diamètre est égal ou légèrement supérieur au diamètre du filamentement désiré. Ce jet de métal pénètre ensuite dans une couche de liquide refroidissant, tel que de l'eau ou une solution aqueuse d'un sel qui peut être, par exemple, du chlorure de sodium, de magnésium ou de zinc, et qui assure la solidification du filament métallique. Cette couche de liquide est en mouvement dans une direction transversale à celle du jet de métal. Elle s'écoule sur une surface solide qui lui communique son propre mouvement, et qui est constituée par l'intérieur d'un tambour en rotation autour d'un axe horizontal. Le réservoir de métal liquide est inscrit dans la partie centrale évidée du tambour.

Le filament, au fur et à mesure de sa coulée, est enroulé à l'intérieur du tambour sous l'effet de la force centrifuge, ou est extrait du tambour et bobiné à l'extérieur de celui-ci au fur et à mesure de sa formation.

Ce procédé est souvent désigné par les termes "Rotating Water Spinning" (RWS), ou "roue à eau". Grâce à la vitesse de refroidissement élevée qu'il procure, il permet, pour certaines compositions d'alliages, d'obtenir des filaments amorphes de dimension uniforme présentant, entre autres propriétés, une résistance à la traction très élevée. On peut ainsi couler des filaments amorphes en alliages à base de divers métaux tels que le fer, le cuivre, le cobalt, l'or, l'aluminium, etc.

De tels dispositifs présentent cependant un inconvénient majeur dans la perspective d'une industrialisation. Comme on l'a dit, le réservoir de métal liquide est inscrit dans l'espace laissé libre à l'intérieur du tambour, comme le diamètre intérieur de celui-ci n'excède pas quelques dizaines de cm, il n'est pas possible d'y placer un réservoir dont la capacité excède quelques kg de métal. Une installation industrielle ne pourrait donc pas couler une longueur de filament très élevée avant qu'il ne soit nécessaire d'arrêter la coulée pour recharger le réservoir. Dans ces conditions, la productivité de l'installation serait médiocre, et sa rentabilité en serait sensiblement affectée.

On a essayé de pallier cet inconvénient en déposant le fluide refroidissant non plus sur un tambour en rotation, mais sur une courroie en mouvement, à laquelle on donne une forme plane ou incurvée sur la partie de son parcours où a lieu la solidification et le refroidissement du filament (voir le document EP 0089134). L'espace surplombant la courroie étant totalement ouvert, on peut y disposer un réservoir de très grande capacité. Cependant, il est nécessaire d'alimenter la courroie en fluide refroidissant de manière continue au moyen d'une conduite débouchant dans son voisinage. Cette alimentation s'accompagne inévitablement de la création de turbulences au sein du liquide. Ces turbulences doivent impérativement être dissipées en amont du point de pénétration du jet de métal dans le liquide. C'est seulement à cette condition que la solidification du jet a lieu dans un fluide en régime laminaire et peut aboutir à la formation d'un filament continu de dimensions constantes et de section aussi circulaire que possible. Cela implique que la distance entre le point d'arrivée du liquide refroidissant sur la courroie et le point de pénétration du jet de métal soit importante (plusieurs mètres). D'autre part, il est nécessaire de prévoir une installation de récupération et de recyclage du fluide refroidissant, puisque celui-ci quitte la courroie après avoir joué son rôle. Cet inconvénient n'existe pas dans les dispositifs du type tambour, puisque le liquide y est déposé en une seule fois lors de la phase de démarrage de l'opération de coulée et n'a pas, en général, besoin d'être renouvelé au cours de la coulée (surtout si le tambour est refroidi intérieurement, afin de maintenir constante la température du liquide). Si la rotation du tambour s'effectue à une vitesse stable, le liquide circule sensiblement à la même vitesse constante que sa surface interne et un régime laminaire peut être obtenu sans difficultés.

Le but de l'invention est de proposer un dispositif de coulée continue directe d'un filament métallique mince à partir d'un jet de métal liquide, basé sur le principe de la "roue à eau", et autorisant la coulée ininterrompue de très grandes longueurs de filament.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de coulée continue de filaments métalliques directement à partir de métal liquide, selon lequel on fait s'écouler ledit métal liquide hors d'un réservoir en matériau réfractaire chauffé et mis sous pression en formant un jet de métal liquide de diamètre égal ou légèrement supérieur à celui du filament à couler, et on fait se solidifier ledit jet en le faisant pénétrer dans une couche de liquide refroidissant en mouvement déposée sur la paroi interne d'un tambour en rotation autour d'un axe horizontal, caractérisé en ce qu'on alimente ledit réservoir en métal solide sans interrompre la coulée, et en ce qu'on réalise la fusion dudit métal solide à l'intérieur dudit réservoir.

L'invention a également pour objet un dispositif de coulée continue de filaments métalliques de très

faible diamètre directement à partir de métal liquide, du type comprenant un tambour muni de moyens pour le mettre en rotation autour d'un axe horizontal, une couche d'un liquide refroidissant déposée sur la surface intérieure dudit tambour, un réservoir en un matériau réfractaire, contenant ledit métal liquide et muni d'un orifice de sortie surplombant ladite couche de liquide refroidissant, de moyens assurant la fusion et le chauffage dudit métal liquide et de moyens d'introduction d'un gaz neutre sous pression dans ledit réservoir, caractérisé en ce qu'il comporte un récipient sous pression contenant ledit métal à l'état solide sous forme divisée, et des moyens pour alimenter ledit réservoir en ledit métal solide sans interruption de la coulée.

Comme on l'aura compris, l'invention consiste à réaliser le chargement en métal solide du réservoir de manière continue ou intermittente grâce à un dispositif y introduisant ledit métal solide sous forme divisée, c'est-à-dire de poudre ou de granulés, et ne nécessitant pas l'arrêt de la coulée pour réaliser ce chargement. Le métal solide ajouté fond lors de son introduction dans le métal liquide déjà présent dans le réservoir, et on peut ainsi conserver en permanence une quantité donnée de métal liquide dans le réservoir, et assurer durablement des conditions de fonctionnement stables du dispositif.

L'invention sera mieux exposée dans la description qui suit, donnée en référence à la figure unique annexée, représentant schématiquement en coupe partielle un exemple de sa mise en oeuvre.

Le dispositif de coulée directe de filament mince représenté sur la figure unique comprend, de manière connue, un tambour de coulée 1. Ce tambour 1 se présente comme un cylindre dont le diamètre est de l'ordre de 500 à 700 mm, et dont l'axe longitudinal est maintenu horizontal. L'une des faces intérieures planes de ce cylindre constitue le fond 2 du tambour 1 et porte un arbre 28 centré sur l'axe longitudinal du tambour 1. Cet arbre 28 est relié à des moyens classiques non représentés pouvant assurer sa mise en rotation à des vitesses déterminées (de l'ordre de 300 t/min). La face plane opposée du tambour 1 est évidée sur la plus grande partie de sa surface, de manière à n'en laisser subsister qu'une portion en couronne 3 qui, avec le fond 2 et la surface intérieure 4 (en général cylindrique) du tambour 1, définit un réceptacle pour le fluide refroidissant. Sous l'effet de la mise en rotation du tambour 1, le fluide refroidissant qui a été préalablement déposé dans ce réceptacle (ou introduit une fois réalisée la mise en rotation du tambour 1) est entraîné à une vitesse sensiblement égale à celle de la surface intérieure 4 du tambour 1. Il forme une couche 5 d'épaisseur de l'ordre de 10 à 20 mm sur tout le pourtour intérieur du tambour 1.

Toujours de manière connue, un réservoir 6 en matériau réfractaire (par exemple en quartz, ou alumine) destiné à contenir le métal liquide 7 à couler est

disposé à l'intérieur du tambour 1. Il est muni d'un orifice inférieur 8 de diamètre égal ou légèrement supérieur à celui du filament que l'on veut couler. Un dispositif de chauffage, par exemple comportant une bobine d'induction 9 entourant le réservoir 6, assure la fusion du métal et son maintien à la température visée, et provoque en son sein une légère agitation favorable à son homogénéité chimique et thermique. Une conduite 10, connectée au couvercle étanche 11 qui coiffe le réservoir 6, assure l'introduction d'un gaz neutre dans le réservoir 6 à partir d'une source non représentée. Ce gaz a pour rôles de créer dans le réservoir 6 une atmosphère non polluante pour le métal liquide 7 (essentiellement exempte d'oxygène), et de créer une surpression (de l'ordre de 3 à 10 bars) permettant l'écoulement du métal liquide 7 par l'orifice 8. Cet écoulement provoque la formation d'un jet 12 de métal liquide qui pénètre dans la couche 5 de liquide refroidissant. Il s'y solidifie pour former un filament 13 de très faible diamètre et éventuellement de structure amorphe, si la nature du métal et sa vitesse de refroidissement le permettent. Ce filament 13 est entraîné par le liquide refroidissant 5 et vient s'enrouler à l'intérieur du tambour 1 (quelques spires déjà formées ont été ainsi représentées sur la figure 1), à moins qu'un dispositif d'un type connu en lui-même n'assure continûment l'extraction et le bobinage du filament hors du tambour 1.

Habituellement, comme on l'a dit, le métal est introduit avant la coulée sous forme solide (poudre, lingots, granulés...) dans le réservoir 6 qui est ensuite refermé. Le dispositif de chauffage 9 assure la fusion de ce métal et le porte, à l'état liquide, jusqu'à la température désirée. A ce moment-là, la surpression gazeuse est appliquée sur le bain métallique dans le réservoir 6, l'orifice inférieur 8 du réservoir 6 est ouvert et la coulée débute. Elle se poursuit jusqu'à la vidange plus ou moins complète du réservoir 6, puis elle doit être interrompue pour qu'ait lieu la recharge du réservoir 6.

Selon l'invention, l'alimentation en métal solide du réservoir 6 est réalisée comme suit. Le métal à couler 14 est stocké à l'état solide, sous forme divisée, c'est-à-dire de poudre ou de granulés d'un diamètre de l'ordre de 0,1 à 5 mm, dans un récipient fermé 15. Ce récipient 15 est maintenu à une pression égale à celle régnant dans le réservoir 6 de métal liquide 7. A cet effet, une réserve de gaz neutre 16 est relié par une conduite 17 et une vanne 18. Cette réserve 16 peut aussi constituer la source de gaz neutre qui met sous pression le réservoir de métal liquide 6. Dans sa partie inférieure 19, le récipient 15 est traversé par une vis d'Archimède 20 horizontale ou éventuellement oblique, entraînée en rotation à une vitesse réglable à volonté par l'opérateur, grâce à un moteur 21. Le sens de rotation de la vis d'Archimède 20 est choisi tel qu'il provoque l'extraction de la poudre ou des granulés de métal solide 14 hors du réci-

pient 15. A l'extérieur du récipient 15, un tube 22, connecté à l'une de ses extrémités, de manière étanche, à la partie inférieure 19 du récipient 15, gaine la vis d'Archimède 20 de manière à confiner le métal solide 14 et permettre son transport sans générer de frottements excessifs entre le filetage de la vis 20 et la paroi interne du tube 22. Le tube 22 est connecté à son autre extrémité, également de manière étanche, au couvercle 11 du réservoir de métal liquide 6, et la vis d'Archimède 20 débouche à l'intérieur dudit réservoir 6. Elle permet ainsi d'amener la poudre ou les granulés de métal solide 14 à l'intérieur du réservoir 6. Par simple gravité, le métal solide 14 chute dans le métal liquide 7 où il fond, et contribue ainsi à maintenir en permanence (si l'ajout est continu) ou à amener (si l'ajout est intermittent) la quantité de métal liquide 7 contenue dans le réservoir 6 à la valeur désirée. Le débit de métal solide 14 pénétrant dans le réservoir 6 peut être aisément réglé en jouant sur la vitesse de rotation de la vis d'Archimède 20, après que l'on a déterminé expérimentalement, pour un métal solide 14 de nature et de granulométrie données, à quelle vitesse correspond quel débit.

Comme représenté sur la figure unique, le récipient 15 peut lui-même être alimenté en métal solide 14 de manière discontinue à partir d'un deuxième récipient 23 sous pression atmosphérique. Ces deux récipients 15 et 23 sont séparés par un sas 24 qui permet, grâce à ses deux clapets étanches supérieur 25 et inférieur 26, de réaliser l'alimentation du récipient 15 sans perturber de manière excessive l'établissement de la surpression nécessaire au fonctionnement de l'installation.

Le métal solide 14 ne peut être d'une propreté parfaite, et comporte toujours une quantité plus ou moins importante d'impuretés non-métalliques, telles que des inclusions d'oxydes. Ces impuretés, après la fusion du métal 14, décanter en général à la surface du métal liquide 7 contenu dans le réservoir 6. Si leur composition est défavorable et leur procure une température de fusion supérieure à celle du métal liquide 7, elles forment progressivement une croûte solide d'épaisseur croissante à la surface du métal liquide 7. Cette croûte peut finir par constituer une gêne sérieuse à l'introduction de la poudre ou des granulés de métal solide 14 dans le métal liquide 7. Pour remédier à ce problème, il est conseillé de former, à la surface du métal liquide 7 contenu dans le réservoir 6, une couche de laitier 27 d'une composition telle qu'il reste à l'état liquide à la température de traitement, même lorsqu'il se combine aux impuretés non-métalliques décanter. Par exemple, si on coule un alliage Fe-Si-B dans un creuset en quartz, le laitier ajouté est un laitier saturé en silice et contenant des oxydes de bore.

Une façon de former cette couche de laitier 27 peut être d'introduire dans le réservoir 6, en même temps que la charge initiale de métal solide 14, la

quantité de laitier 27 que l'on estime par avance suffisante pour absorber et rendre liquides toutes les impuretés non-métalliques qui viendront y décanter pendant l'ensemble de la coulée. Mais il y a un risque que cette quantité s'avère insuffisante, et qu'avant la fin de la coulée, le laitier 27 finisse par être saturé en impuretés et se solidifie. De plus, l'ajout précoce d'une quantité importante de laitier 27, si ce dernier contient des constituants (tels que les fondants) agressifs pour le réservoir 6, risque de conduire à une usure importante et prématurée de ce dernier. C'est pourquoi on peut aussi envisager de former la couche de laitier 27 d'une manière progressive. Cela peut être réalisé en mélangeant une certaine proportion prédéterminée de laitier neuf au métal solide 14 destiné à être introduit dans le réservoir 6 en cours de coulée. Cela peut aussi être réalisé en introduisant le laitier neuf d'une composition prédéterminée de manière continue ou intermittente dans le réservoir 6 au moyen d'un deuxième dispositif, identique dans son principe à celui qui vient d'être décrit pour l'introduction du métal solide 14. Cette dernière solution est avantageuse en ce qu'elle permet d'ajuster en permanence la quantité de laitier neuf ajoutée en fonction des besoins réels, et non pas seulement en fonction des besoins estimés d'après les expériences précédentes. A cet effet, les besoins réels en laitier neuf peuvent être évalués notamment en contrôlant visuellement l'état plus ou moins liquide ou solide de la couche de laitier 27. Cela est facile lorsque la métallurgie du métal coulé permet d'utiliser un réservoir 6 en quartz transparent, ou si une fenêtre en quartz peut être ménagée sur la paroi d'un réservoir 6 qui serait, par ailleurs, constitué par un matériau opaque. On peut également envisager d'insérer dans le couvercle 11 du réservoir 6 une fibre optique orientée vers la surface du laitier 27 et reliée à une caméra, afin d'obtenir en permanence une image de cette surface. D'autre part, l'introduction d'un tel laitier peut aussi être réalisée à des fins métallurgiques, par exemple pour la désulfuration des alliages ferreux. Optimalement, au lieu d'introduire dans le réservoir 6 un laitier de composition prédéterminée, on peut aussi envisager que le laitier introduit soit prélevé dans une chambre de mélange, elle-même connectée à des trémies contenant chacune l'un des constituants de ce laitier, constituants dont il est ainsi possible de régler les proportions respectives en fonction des besoins du moment.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée à l'exemple qui a été décrit et représenté. En particulier, tout dispositif d'alimentation du réservoir 6 en métal solide 14 peut être utilisé, et pas seulement une vis d'Archimède. On pourrait songer à utiliser par exemple une bande transporteuse ou une plaque vibrante. Mais la vis d'Archimède a pour avantages qu'elle procure une grande facilité de réglage et une bonne reproductibilité du débit de métal solide 14, qu'elle est

de construction simple, et que, de ce fait, elle présente une grande fiabilité dans son fonctionnement.

L'invention peut être utilisée pour la coulée directe de filaments de tous alliages métalliques ferreux ou non ferreux initialement sous forme divisée.

Revendications

1) Procédé de coulée continue de filaments métalliques directement à partir de métal liquide, selon lequel on fait s'écouler ledit métal liquide hors d'un réservoir en matériau réfractaire chauffé et mis sous pression en formant un jet de métal liquide de diamètre égal ou légèrement supérieur à celui du filament à couler, et on fait se solidifier ledit jet en le faisant pénétrer dans une couche de liquide refroidissant en mouvement déposée sur la paroi interne d'un tambour en rotation autour d'un axe horizontal, caractérisé en ce qu'on alimente ledit réservoir en métal solide sans interrompre la coulée, et en ce qu'on réalise la fusion dudit métal solide à l'intérieur dudit réservoir.

2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on effectue ladite coulée en présence d'une couche de laitier surmontant ledit métal liquide contenu dans ledit réservoir, et en ce qu'on maîtrise la composition de ce laitier de manière à le conserver à l'état liquide pendant toute la durée de la coulée.

3) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on ajoute des composants dudit laitier dans ledit réservoir conjointement audit métal solide auquel ils sont mélangés.

4) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on ajoute des composants dudit laitier dans ledit réservoir indépendamment dudit métal solide.

5) Dispositif de coulée continue de filaments métalliques (13) directement à partir de métal liquide (7) du type comprenant un tambour (1) muni de moyens (28) pour le mettre en rotation autour d'un axe horizontal, une couche (5) d'un liquide refroidissant déposée sur la surface intérieure (4) dudit tambour (1), un réservoir (6) en un matériau réfractaire, contenant ledit métal liquide (7), et muni d'un orifice de sortie (8) surplombant ladite couche (5) de liquide refroidissant, de moyens (9) assurant la fusion et le chauffage dudit métal liquide (7) et de moyens (10) d'introduction d'un gaz neutre sous pression dans ledit réservoir (6), caractérisé en ce qu'il comporte un récipient (15) sous pression contenant ledit métal à l'état solide (14) sous forme divisée, et des moyens pour alimenter ledit réservoir (6) en ledit métal solide (14) sans interruption de la coulée.

6) Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens pour alimenter ledit réservoir (6) en ledit métal solide (14) comprennent une vis d'Archimède (20) dont une extrémité plonge dans ledit récipient (15) et dont l'autre extrémité débouche dans ledit réservoir (6), ladite vis d'Archimède étant

munie de moyens (21) assurant sa mise en rotation autour de son axe, et d'un tube (22) qui la gaine sur son trajet entre ledit récipient (15) et ledit réservoir (6).

7) Dispositif selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce qu'il comporte un deuxième récipient (23) à la pression atmosphérique, contenant ledit métal solide (14) et muni de moyens (24, 25, 26) pour envoyer ledit métal solide (14) dans ledit récipient (15) sous pression.

8) Dispositif selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce qu'il comporte également des moyens pour alimenter ledit réservoir (6) destinées à constituer une couche de laitier (27) à la surface dudit métal liquide (7).

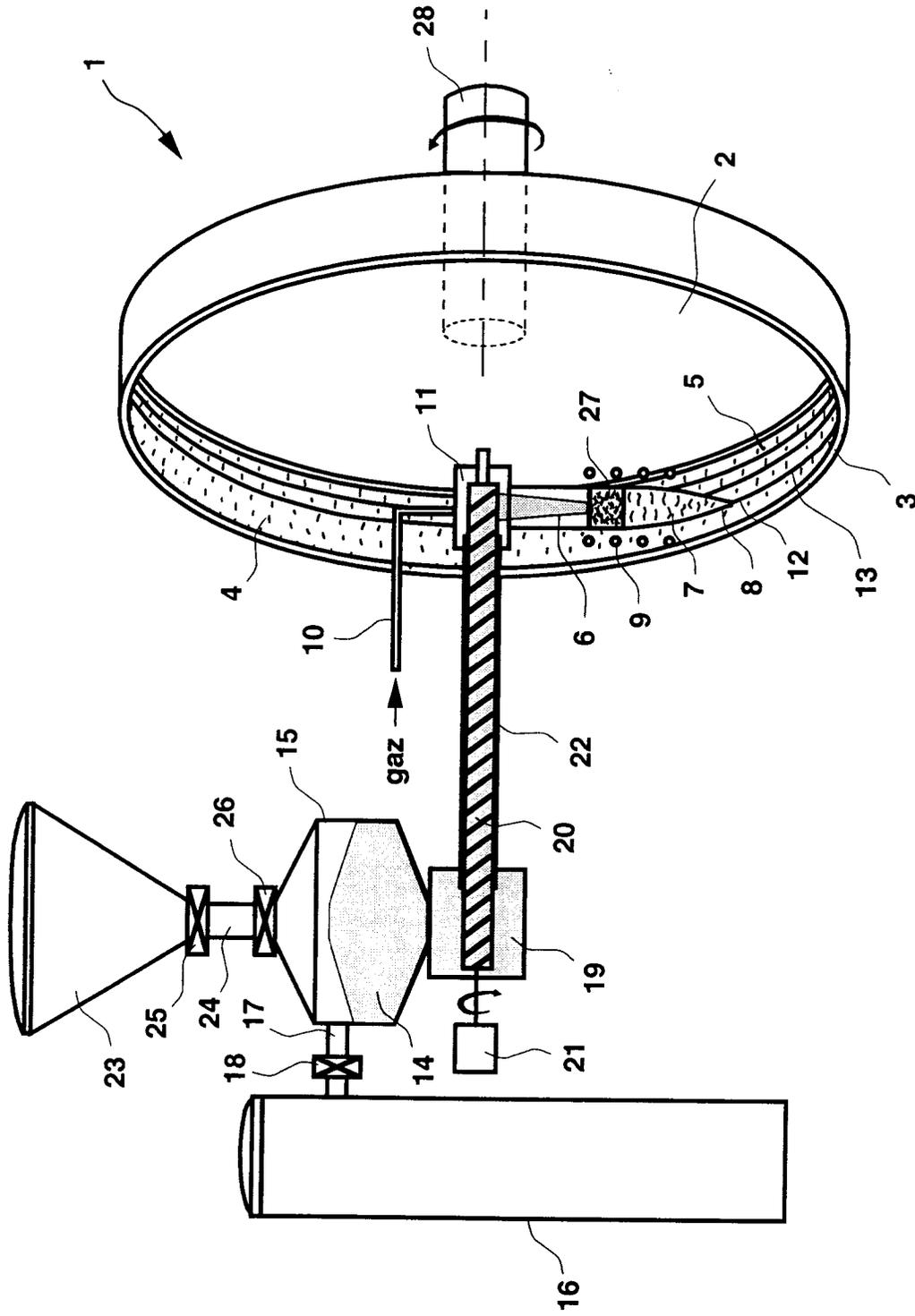


Figure unique



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 95 40 0272

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 9 no. 231 (M-414) [1954] ,18 Septembre 1985 & JP-A-60 087952 (SUMITOMO DENKI KOGYO K.K.) 17 Mai 1985, * abrégé *	1,5	B22D11/06 B22D11/00
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12 no. 171 (M-700) [3018] ,21 Mai 1988 & JP-A-62 286652 (KOBE STEEL LTD) 12 Décembre 1987, * abrégé *	1,5	
D,A	EP-A-0 039 169 (UNITIKA LIMITED)	1-8	
D,A	EP-A-0 089 134 (UNITIKA LTD)	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			B22D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 18 Mai 1995	Examineur Hodiamont, S
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1500 03.82 (P04C02)