

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 05.12.01.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 06.06.03 Bulletin 03/23.

56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71) Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE Etablissement de caractère scientifique techni-
que et industriel — FR.

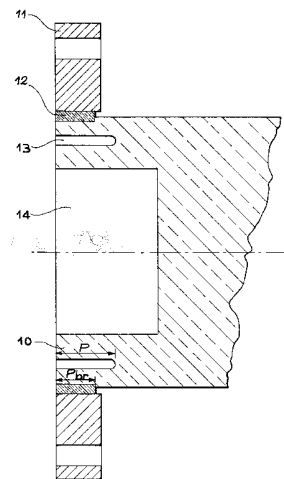
72) Inventeur(s) : PAINCHAULT MICHEL et DURAND
MICHEL.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : BREVATOME.

54) PROCEDE D'ASSEMBLAGE DE DEUX PIECES AYANT DES COTES PRECISES ET APPLICATION AU
BRASAGE D'UN ACCELERATEUR LINAC RFQ.

57) Procédé d'assemblage de deux pièces (10, 11) dont
les cotes d'une des pièces ou de l'assemblage final doivent
être respectées avec précision, dans lequel on usine préa-
lablement, dans la pièce dont les cotes doivent être respec-
tées avec la plus grande précision, une gorge (13) de
profondeur p supérieure à la profondeurs P_b d'une zone
constituant un contour fermé délimitant un espace où l'as-
semblage exerce des contraintes, située entre ces cotes et
ladite zone de manière à introduire une certaine élasticité.



**PROCEDE D'ASSEMBLAGE DE DEUX PIECES AYANT DES COTES
PRECISES, ET APPLICATION AU BRASAGE D'UN ACCELERATEUR
LINAC RFQ**

5

DESCRIPTION**DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne un procédé d'assemblage, par exemple par brasage ("brazing" en anglais) ou soudage, de deux pièces ayant des cotes précises, et son application au brasage d'un accélérateur LINAC RFQ. Le domaine de l'invention est celui de la construction mécanique de précision.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

L'échauffement nécessaire au brasage engendre, après refroidissement, des modifications indésirables des cotes de ces pièces. L'invention se propose de limiter les effets de deux types de perturbations concourant à diminuer la précision des cotes d'une des pièces ou de l'assemblage final.

D'une part, un premier type de perturbations s'établit, que les pièces à braser soient de même matériau ou de matériaux différents.

Par exemple, la propagation de la chaleur lors du cycle thermique de brasage ou de soudage crée un gradient thermique induisant des contraintes et des déformations qui, si elles sont plastiques, resteront irrémédiables et qui sont difficilement contrôlables. Ce phénomène est particulièrement critique s'il se produit au voisinage de la zone de brasage ou de zones de tolérances sévères pour le bon fonctionnement de

l'objet final. Ainsi une partie d'une pièce plus mince en raison d'un évidement ou d'un alésage peut augmenter du fait de la géométrie le gradient thermique indésirable.

5 Un autre exemple est le relâchement des contraintes internes des matériaux que provoquent les températures élevées.

 Il peut résulter de ces deux phénomènes des micro-déformations non homogènes qui modifient
10 sensiblement certaines cotes de la pièce.

 D'autre part, un second type de perturbations s'établit lors du brasage ou du soudage de deux pièces constituées de matériaux de nature différente, ayant
15 des coefficients de dilatation différents. Lors du refroidissement à l'issue du brasage, les pièces assemblées et donc solidaires cherchent à reprendre leurs positions initiales. Aussi, chacune d'elle tire sur l'autre, induisant ainsi un ensemble de contraintes
20 qui les déforment mutuellement.

 On ne s'intéressera qu'aux cas où la zone de brasage ou de soudage décrit une courbe fermée, même si c'est de façon discontinue. Une telle courbe délimite une zone intérieure et une zone extérieure.

25 Sans se limiter à ce cas, l'intérêt de l'invention est plus évident lorsqu'on considère le cas où l'une des pièces possède, d'un même côté de la zone de brasage (soit dans la zone intérieure, soit dans la
30 zone extérieure), à la fois des cotes devant être respectées et un évidement ou alésage d'assez grandes

dimensions, comme illustré par exemple aux figures 1 et 2. La figure 1 représente une pièce comportant à l'intérieur d'une zone de brasage 6 plusieurs cotes, par exemple a et b, devant être respectées avec
5 précision et un évidement 7, triangulaire, de dimensions comparables aux dimensions de cette zone de brasage 6. La figure 2 représente une pièce comportant à l'extérieur d'une zone de brasage 6 des cotes c et d devant être respectées avec précision et un alésage 8
10 de dimension comparable aux dimensions de cette zone de brasage 6. Dans de tels cas, les perturbations du premier type définies ci-dessus induisent des microdéformations ne permettant pas de conserver avec précision les cotes a, b, c et d obtenues à l'issue de
15 l'usinage

Les déformations peuvent aussi être causées par les perturbations du second type définies ci-dessus, lorsque les deux métaux à braser ne sont pas de même nature et se comportent différemment en fonction de la
20 température.

Les déformations sont les plus importantes lorsque se cumulent les perturbations des deux types. Dans des cas extrêmes comportant au moins de fortes
25 perturbations du second type, les microdéformations peuvent même mener à la rupture au sein de l'assemblage.

Les techniques générales de brasage sont
30 rappelées dans le document référencé [1] en fin de

description, le respect précis des cotes n'est toutefois pas traité dans ce document.

La difficulté pour prévoir correctement le comportement d'un ensemble à braser est le grand nombre de paramètres qui y participent : les coefficients de dilatation, les propriétés mécaniques des matériaux dans le domaine élastique et plastique qui évoluent de plus selon la température, les dimensions obtenues après usinage, les jeux entre les pièces à braser, etc... Ce nombre de paramètres se multiplie, bien évidemment, si la solution adoptée utilise plusieurs étapes de brasage.

Le problème de la solidité d'un assemblage ainsi obtenu lorsque les matériaux ont des coefficients de dilatation différents donne lieu à deux familles de techniques.

La première famille est fondée sur l'élasticité d'une couche intermédiaire disposée entre les pièces à assembler. Le document référencé [2] décrit ainsi une méthode pour braser une pièce en carbone avec un refroidisseur métallique. La différence de dilatation est alors notable puisqu'elle présente un coefficient d'environ 10.

Le document référencé [3] décrit une méthode dans laquelle on intercale une bague qui se plastifie entre les deux pièces à braser, en utilisant la superplasticité de certains matériaux. L'exemple typique d'une telle technique consiste à braser une bague en cuivre sur le diamètre intérieur d'une bride en acier inoxydable puis de braser cet ensemble sur la pièce en cuivre à braser. La bague a le même

coefficient de dilatation que la pièce à braser mais la première étape de brasage permet de créer une zone plastique localisée qui ne se propage pas ensuite à la pièce définitive.

5 Une autre solution consiste à intercaler une ou plusieurs couches de matériaux de coefficient de dilatation intermédiaire entre les deux pièces à braser.

La deuxième famille repose sur l'ajout d'une structure souple discontinue entre les deux pièces à braser, comme décrit dans le document référencé [4]

Une bague plastique constituée en un matériau plus mou que l'une au moins des pièces à assembler peut également être intercalée entre ces deux pièces. Dans 15 le document référencé [5], on augmente la plasticité d'une telle bague en réalisant des indentations sur une pièce et des aspérités sur l'autre. Cette insertion d'une bague déformable permet de limiter de façon significative les erreurs de positionnement introduites 20 par le brasage, mais ne permet en aucun cas, même avec les perfectionnements cités, d'obtenir une précision d'assemblage ne dégradant pas de façon mesurable la précision d'usinage de chacune des pièces.

Ces documents ne visent pas la préservation, au 25 cours du brasage, de cotes précises. En particulier, ils n'apportent aucun enseignement pour les perturbations du premier type, c'est à dire dans les cas où l'une des pièces possède, d'un même côté de la zone de brasage, à la fois des cotes devant être 30 respectées avec précision et un évidement de dimension non négligeable devant les dimensions de cette zone. Si

on se reporte aux figures 1 et 2, ces méthodes induisent des microdéformations ne permettant pas de conserver avec précision les cotes a, b, c et d obtenues à l'issue de l'usinage.

5 Le respect précis de ces cotes exige alors une reprise d'usinage, coûteuse et parfois délicate ou impossible à réaliser.

A titre d'exemple d'application, on peut citer les accélérateurs linéaires de particules ionisées, de
10 type LINAC RFQ ("Radio Frequency Quadrupole"), et plus particulièrement les modèles caractérisés en ce que les quatre pièces polaires ont une structure en aube (en anglais : "vane") et non pas réalisé comme pour les modèles de moindre puissance à l'aide de barres
15 conductrices de diamètre variable (en anglais : "rod"). Un LINAC RFQ de ce type possède un corps central de forme approximativement tubulaire, réalisé en cuivre. Plus précisément, sa forme générale est un conoïde dont la surface extérieure est proche d'un cylindre, et la
20 surface intérieure comporte quatre excroissances polaires s'étendant radialement vers le centre, sans toutefois l'atteindre. L'axe central, libre, sert à la circulation des particules qui longent ainsi les quatre pôles. Ce corps doit être brasé à chaque extrémité sur
25 une bride de fixation, en inox, qui l'entoure.

Le positionnement de l'axe de symétrie doit être fait avec une grande précision par rapport aux dispositifs fixé en amont et en aval. Mais il importe encore plus de ne pas induire, par le brasage, une
30 contrainte d'écrasement qui modifierait les distances entre les extrémités des pôles qui se font face, car il

s'agit de distances déterminantes pour le fonctionnement de l'accélérateur, ceci d'autant plus que la géométrie complexe de l'ensemble rend impossible toute reprise d'usinage.

5 Les autres RFQ à structure en aube existants soit s'accommodent de précisions nettement plus larges, soit utilisent des brides en glidcop, un alliage à base de cuivre qui en possède le comportement thermique. Une telle réalisation de RFQ est décrite dans le document
10 [6]. Ce document, en lui-même, ne mentionne pas l'épaisseur des joints. Toutefois, on lit à la figure 2 que les brides de fixation ont une épaisseur de 0,5" (soit 12,5 mm), ce qui pour l'homme du métier indique un faible couple de serrage et donc l'utilisation de
15 joints métalliques. En effet, une force de serrage élevée serait à l'origine d'un couple important entre son point d'appui et celui du joint d'étanchéité, induisant une déformation rédhibitoire de la bride.

L'inconvénient est alors l'obligation
20 d'utiliser des joints à faible couple de serrage et donc réalisés en polymères, comme le Viton, qui ne permettent pas d'obtenir un vide aussi poussé dans l'enceinte. L'invention permet d'utiliser des joints métalliques réputés meilleurs, voire indispensables
25 pour l'ultra-vide.

Nous ne connaissons aucune autre réalisation d'un RFQ à structure en aube ("vane") et brides en inox, permettant l'utilisation de joints métalliques.

30 L'invention a pour objet de pallier les inconvénients des documents de l'art connu en

permettant d'obtenir dans le cas où l'une des pièces possède, d'un même côté de la zone de brasage, à la fois des cotes devant être respectées avec précision et un évidement de dimension non négligeable devant les dimensions de cette zone, des cotes précises à l'issu
5 d'un assemblage par brasage de deux pièces, ceci de manière à obtenir une précision d'assemblage ne dégradant pas de façon mesurable la précision d'usinage de ces pièces, même si ces pièces sont en matériaux
10 différents

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention propose un procédé d'assemblage, par brasage ou soudage, de deux pièces dont les cotes d'une des pièces ou de l'assemblage
15 final doivent être respectées avec précision, caractérisé en ce que l'on usine préalablement, dans la pièce dont les cotes doivent être respectées avec la plus grande précision, une gorge de profondeur p , supérieure à la profondeur p_{br} d'une zone, par exemple
20 la zone de brasage, constituant un contour fermé délimitant un espace où l'assemblage exerce des contraintes, situé entre ces cotes et ladite zone, de manière à introduire une certaine élasticité.

L'invention s'applique indifféremment lorsque
25 les microdéformations sont du premier ou du second type décrit ci-dessus, mais elle est particulièrement recommandée lorsque ces deux types se cumulent.

De manière préférentielle, on insère entre les deux pièces une bague déformable.

30

L'intérêt de l'invention est multiple. Tout d'abord elle permet d'éviter que l'opération de brasage ou de soudage, et les contraintes qui en résultent, n'induisent une perte de précision pour les cotes devant être respectées. Elle permet aussi de garantir une précision élevée dans le positionnement relatif des deux pièces à assembler, ce qui est généralement avantageux lorsqu'elles ont un axe de symétrie en commun. Dans le cas où l'une de ces pièces possède un alésage devant respecter une cote précise, l'invention permet de ne pas pénaliser cette cote lors de l'opération de brasage. L'invention permet une telle précision de l'assemblage même lorsque les différentes pièces sont dans des matériaux différents.

Lorsqu'il faut réaliser une cote précise en un endroit non accessible par un outil permettant une reprise, le recours à l'invention peut s'avérer indispensable. Dans le cas général, elle économise une reprise mécanique donc un montage sur une machine d'usinage, ce qui diminue le coût de la pièce finale.

En ajoutant à la bague déformable, entre la zone de brasage et l'élément dont la cote doit être respectée, une gorge usinée sur l'une des pièces, le procédé selon l'invention permet d'obtenir une précision de l'assemblage améliorée par rapport à l'art antérieur. Il en résulte un effet autocentrant, synergique de la déformation plastique introduite par la bague.

La position et la profondeur p de cette gorge usinée doivent être optimisés pour obtenir les

meilleurs résultats. La position de la gorge n'est pas très critique. Elle doit surtout se trouver entre le brasage et la zone, généralement alésée, dont on veut conserver les dimensions avec précision. Elle doit
5 aussi être suffisamment proche de la zone à braser pour que l'élasticité qu'elle induise soit effective, mais suffisamment éloignée dès cette zone pour assurer la tenue mécanique de la pièce. L'homme du métier trouve sans difficulté une position qui respecte ces
10 conditions.

La profondeur p est plus difficile à optimiser. Elle dépend de la profondeur p_{br} de la zone brasée, et croît à mesure que cette profondeur croît. Elle doit être supérieure à p_{br} , et de préférence comprise entre 2
15 et 3 fois la profondeur p_{br} de la zone brasée.

La détermination, et le cas échéant l'optimisation des paramètres de cette gorge s'effectuent par des essais dans le cas de pièces simples et peu coûteuses. Dans le cas de pièces
20 complexes ou coûteuses, ainsi que lorsqu'on veut obtenir une précision élevée, par exemple de l'ordre de quelques centièmes de mm, ou une précision supérieure à la précision d'usinage, elle s'effectue à l'aide d'un code de CAO mécanique (Castem ou Ansys par exemple)
25 utilisé itérativement selon les étapes ci-dessous :

1- évaluation au juger d'une position et d'une profondeur de gorge qui semblent raisonnables, la profondeur p étant supérieure à la profondeur p_{br} de la zone devant être brasée

30 2- modélisation, pour chacune des deux pièces des effets de la montée en température, jusqu'à la

température de brasage, en prenant notamment en compte l'écart des coefficients de dilatation des matériaux

3- lorsque le calcul arrive à haute température, insertion d'une étape de liaison manuelle
5 des mailles lors du contact entre les pièces, afin de reconstituer la continuité des mailles des deux pièces devant être en contact

4- modélisation de la redescente en température

5- vérification de la valeur des contraintes
10 induites, qui doivent rester acceptables, sinon correction de la profondeur de la gorge (éventuellement de sa position) et nouvelle itération des étapes ci-dessus.

La gorge étant ainsi déterminée, on réalise le
15 brasage proprement dit.

Avantageusement, lorsque plusieurs brasages doivent être réalisés, ou lorsque la forme de la pièce est complexe, on réalise simultanément tous les brasages en plaçant le métal d'apport de façon à ce
20 que, liquide pendant le brasage, il coule entre les faces devant être brasées. Le métal d'apport est soit sous forme d'une feuille de quelques micromètres d'épaisseur intercalée entre les deux faces à braser
25 profondes dites "gorges de brasure" préalablement usinées dans l'une des pièces. Puis l'ensemble est placé dans un four qui fait fondre en une même opération le métal d'apport, ce qui réalise les divers brasages.

30 Une telle réalisation des brasages au four est généralement nécessaire pour pouvoir obtenir des

précisions d'assemblage de l'ordre de quelques centièmes de millimètres. Toutefois pour obtenir la meilleure précision, il faut l'utiliser dans un processus en deux étapes comme on l'exposera dans la
5 réalisation détaillée du LINAC RFQ.

Après le brasage proprement dit, on place l'assemblage résultant sur un appareil métrologique pour relever les cotes, et on définit le centre effectif de l'alésage par une méthode mathématique,
10 comme par exemple celle des moindres carrés. Ce centre est défini par rapport à des repères effectués au préalable, et qui doivent eux même être déterminés avec une précision suffisante.

Le procédé de l'invention peut avantageusement
15 être utilisé pour la réalisation d'un accélérateur LINAC RFQ. Il est particulièrement avantageux si ce LINAC est du type à structure en aube. Dans ce cas, le corps de l'accélérateur est un ensemble de quatre pièces polaires, en général formé de quatre secteurs
20 approximativement cylindriques, chacun d'eux portant un des quatre pôles. La précision la plus élevée est obtenue avec la mise en œuvre ci-dessous, qui optimise les performances de l'invention et en constitue la réalisation optimale. Dans une première étape, on
25 assemble par soudage ou brasage la bague élastique de chaque extrémité sur la bride correspondante. Dans une seconde étape on relève sur un appareil de métrologie les cotes d'un ensemble de points prédéterminés et on recherche par calcul la position effective de l'axe de
30 l'alésage. Dans une troisième étape, cette position est utilisée pour centrer les quatre pièces polaires, avant

la dernière étape consistant à faire fondre les cordons de soudure. Une telle technique permet une précision supérieure à celle résultant de la précision d'usinage de chaque pièce et du jeu accepté pour la mise en
5 place.

Une fois les caractéristiques de la gorge définies, les étapes suivantes sont réalisées :

1) Définition d'une base de référence, définie
10 sur un plan.

2) Usinage selon cette base des diverses pièces avec leur gorge, implantation de repères physiques de haute précision (pions), puis brasage.

3) Contrôle sur un appareil métrologique pour
15 relever les cotes d'une liste de points pré-déterminés, leurs coordonnées étant données dans la base de référence.

4) Recherche par la méthode des moindres carrés de la position effective de l'alésage et définition
20 d'un nouveau centre, et donc d'une nouvelle base (l'invention suppose que l'alésage est correct mais que son centre effectif peut être décalé)

5) Le décalage entre le premier repère et le second est pris en compte pour exprimer dans la
25 nouvelle base les coordonnées des repères initiaux ; ils deviennent des références qui permettent de centrer la pièce.

La pièce est alors centrée par rapport à la seconde base.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

- Les figures 1 et 2 représentent schématiquement deux types de pièces auxquelles l'invention pourrait être appliquée : les figures 1A et 5 1B illustrent respectivement une vue de face et une vue en coupe AA d'un premier type de pièce, dans lequel un évidement est situé à l'intérieur d'une zone de brasage, et les figures 2A et 2B illustrent respectivement une vue de face et une vue en coupe BB 10 d'un second type de pièce, dans lequel un évidement est situé à l'extérieur d'une zone de brasage.

- La figure 3 illustre la réalisation d'un assemblage par brasage, selon l'invention, de deux pièces à symétrie axiale.

15 - La figure 4 illustre une vue simplifiée de l'extrémité d'un accélérateur de type LINAC RFQ.

- La figure 5 illustre l'assemblage obtenu du corps d'un tel accélérateur sur deux brides selon le procédé de l'invention.

20 - La figure 6 illustre la réalisation réelle du corps d'un tel accélérateur, constitué de quatre éléments.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION

Le procédé de l'invention est un procédé 25 d'assemblage, par exemple par brasage ou soudage, de deux pièces ayant des cotes précises, par exemple de deux pièces à symétrie axiale et en matériaux différents.

Comme illustré sur la figure 3, le procédé de 30 l'invention consiste à :

- éventuellement insérer une bague déformable 12 entre une première pièce, qui est ici une pièce à symétrie axiale 10 possédant un évidement 14, et une seconde pièce, qui est une bride 11,

5 - et usiner préalablement à l'assemblage une gorge calibrée 13 dans l'une de ces deux pièces, la profondeur p de cette gorge dépendant de la profondeur p_{br} de la zone brasée, et étant plus longue que celle-ci, et de préférence comprise entre 2 et 3 fois p .

10 Dans le cas où la précision demandée est suffisamment peu élevée pour qu'il ne soit pas fait de modélisation par un code de CAO mécanique, une telle réalisation permet d'éviter de connaître précisément l'écart de coefficient de dilatation entre ces deux
15 pièces 10 et 11.

Lorsque l'on recherche des tolérances larges, le procédé de l'invention s'applique en évitant toute étude quantitative et tout usinage précis pour obtenir une précision d'assemblage ne dégradant pas de façon
20 mesurable la précision d'usinage des surfaces à braser.

Par contre, lorsque l'on recherche des tolérances sévères, les paramètres peuvent être optimisés, éventuellement par des essais, mais de préférence à l'aide de la modélisation décrite
25 précédemment.

Une telle procédure suppose une utilisation spécifique des codes de calculs. Lorsque le calcul arrive à haute température, avec prise en compte des caractéristiques des matériaux, cette utilisation
30 consiste à insérer une étape de liaison manuelle des mailles lors du contact entre les pièces.

Outre l'intérêt de répondre à l'objectif fixé, l'usinage d'une telle gorge de souplesse 13 présente l'intérêt de minimiser le relâchement, lors du cycle thermique de brasage, des contraintes générées dans le
5 matériau pendant son élaboration.

Une application avantageuse du procédé de l'invention concerne un accélérateur linéaire de type RFQ ("Radio Frequency Quadrupole") tel que décrit dans
10 le document référencé [7].

Un tel accélérateur comprend une pièce "tubulaire", ou corps de l'accélérateur, dont la section extérieure est octogonale et qui comporte, à l'intérieur, quatre excroissances polaires s'étendant
15 radialement vers le centre sans toutefois l'atteindre. Sur leur face tournée vers le centre, ces pôles sont pourvus d'ondulations disposées symétriquement pour les deux pôles d'un même plan, et décalées d'une demi-période entre un pôle et le pôle qui le suit
20 immédiatement sur une vue en coupe longitudinale. Ce corps doit être brasé à chaque extrémité sur deux brides circulaires la reliant aux dispositifs situés en amont et en aval. A l'issue de ce brasage, l'alignement de l'axe de symétrie doit réalisé avec une très grande
25 précision par rapport à ces dispositifs situés aux extrémités. Mais il importe encore plus de ne pas induire, par le brasage, une contrainte d'écrasement qui modifierait le diamètre de l'alésage au centre du corps, car cela modifierait la position relative des
30 extrémités polaires tournées vers l'intérieur. Or cette position est déterminante pour le fonctionnement de

l'accélérateur. La géométrie du corps rend impossible tout usinage de finition ou de rectification après l'opération de brasage.

Afin d'avoir une bonne étanchéité au vide, on
5 prévoit de placer des joints métalliques entre deux
pièces démontables. Ce choix conduit à utiliser des
brides en inox, le cuivre n'étant pas assez rigide pour
supporter les efforts nécessaires au serrage de ce type
de joint. Comme par ailleurs, la structure est en
10 cuivre, le brasage de la bride sur le corps de
l'accélérateur met en jeu deux matériaux distincts.

Le procédé de l'invention peut avantageusement
être utilisé pour la réalisation d'un tel accélérateur,
dont une extrémité est schématisée sur la figure 4 avec
15 notamment les conduits 21 permettant la circulation
d'un flux de refroidissement, l'axe 22 étant l'axe du
faisceau de particules et aussi l'axe de symétrie, la
première pièce à symétrie axiale à braser étant ici le
corps 25 et la seconde pièce à braser étant la bride
20 26, les quatre pôles étant référencés 30.

Sur la figure 5 est illustré l'ensemble obtenu
en assemblant ainsi le corps 25 en cuivre sur deux
brides 26 en inox selon le procédé de l'invention, la
bague déformable 27 étant une bague en cuivre, la gorge
25 étant référencée 28. La gorge 29 illustrée sur cette
figure est utilisée pour l'introduction d'un joint HF.

Les impératifs à remplir pour la réalisation
d'un tel accélérateur sont par ordre de priorité :

- la symétrie des pôles selon des axes
30 longitudinal et transversal,

- la distance adjacente moyenne entre les pôles,

- l'alignement des pôles d'un tronçon à l'autre,

5 - la distance entre les pôles correcte en tout point.

Ces impératifs se traduisent par des tolérances sur les axes de pôle et des tolérances de forme sur la surface interne des quadrants (extrémités des pôles situées au voisinage de l'axe) :

- la tolérance de forme des pôles : 0,02 mm,

- la tolérance de forme du fond de cavité : 0,05 mm,

- la perpendicularité entre deux pôles : (0,02 mm/200 mm).

En position nominale, l'axe faisceau vu par chaque pôle est confondu avec les autres. Les extrémités des pôles situées vers le faisceau sont disposés en carré dans une coupe selon un plan transversal à l'axe. Néanmoins les deux pôles situés dans un plan sont décalés axialement d'une demi-ondulation par rapport aux deux pôles situés dans le plan orthogonal. Ainsi, lorsque le plan de coupe transversal se déplace axialement, cette figure formée par les extrémités des pôles situées vers le faisceau forme successivement un carré, un losange de grand axe vertical, un carré, un losange de grand axe horizontal, un carré, et ainsi de suite.

Les deux plans de symétrie doivent être respectés à +/- 0,01 mm. Une déformation selon un losange est acceptable.

Pour limiter la déformée du losange, on ajoute une tolérance de positionnement de l'axe des pôles par rapport à l'axe du faisceau sous la forme d'une tolérance de forme de la surface réglée que constitue
5 l'extrémité des pôles.

Un calcul simple supposant une différence de dilatation de 1.10^{-6} ce qui est très peu et correspond en l'occurrence à la limite des mesures de ce type de paramètre montre que dans les dimensions mentionnées,
10 le brasage devrait induire une déformation de l'ordre de 0,1 mm.

$$\Delta L = 140 \text{ mm} \times 1.10^{-6} \times 1000^{\circ}\text{C} = 0,14 \text{ mm}$$

Or, on a vu qu'on cherchait des déformations de l'ordre de 0,01 mm. L'écart entre valeur souhaitée et
15 l'écart de coefficient de dilatation offre une latitude de mouvement importante pour les phénomènes parasites.

Le procédé de l'invention permet de remplir de tels impératifs. Le procédé de l'invention comporte alors deux étapes de brasage. La première étape est une
20 étape de brasage d'une des deux pièces, la bride en inox 26, avec la bague intermédiaire de cuivre 27. Cette pièce intermédiaire est suffisamment fine pour subir les déformations de la première pièce. La deuxième étape est une étape de brasage de cet ensemble
25 avec le corps en cuivre 25 de l'accélérateur.

Le corps ainsi défini n'est en pratique pas réalisable en une pièce. Il est en fait réalisé en quatre pièces, et les brasages sont toutes réalisées
30 ensemble à l'aide d'un four comme décrit précédemment.

La figure 6 illustre la constitution effective du corps 25 d'un tel accélérateur en quatre éléments, 31, 32, 33 et 34. En effet, selon l'invention, les pièces à braser ne sont pas nécessairement
5 monolithiques. Le corps de l'accélérateur, qui se trouve en position centrale, est en fait réalisé en quatre parties.

Plus précisément, l'accélérateur demande d'une part l'assemblage des quatre éléments entre eux, qui se
10 fait sans recourir à une bague et une gorge selon l'invention mais par un brasage au four, et à chacune des extrémités de cet ensemble un brasage selon l'invention, avec bague et gorge d'une profondeur de 2 à 3 fois p. Mais au préalable, chacune des bagues en
15 cuivre a été séparément brasée sur une des brides en inox, puis l'intérieur de chaque bague a été rectifié avant de réaliser dans une deuxième étape l'assemblage au four de l'ensemble des quatre pièces en aubes avec les brides d'extrémités.

20 Pour cette seconde étape, sur toutes les surfaces devant être brasées, on dispose dans une "gorge de brasure" usinée sur l'une des pièces et non représentée sur la figure 6, un fil constitué du métal d'apport, puis l'ensemble est placé dans un four qui
25 fait fondre le métal d'apport et réalise simultanément les brasages correspondants.

Le procédé d'assemblage selon l'invention est particulièrement avantageux pour l'assemblage de LINACS RFQ. Il reste toutefois applicable à tous types de
30 LINACS, ainsi qu'à des applications nécessitant moins

de précision, comme les tubes à ondes progressives, voire certains klystrons.

L'invention est généralisable à tous les cas où un procédé d'assemblage détermine une zone constituant
5 un contour fermé délimitant un espace où l'assemblage exerce des contraintes, comparable de ce point de vue à la zone de brasage, à l'intérieur de laquelle se trouvent à la fois des cotes devant être respectées avec précision et au moins un évidement de dimension
10 non négligeable devant les dimensions de cette zone. Elle peut ainsi être transposée à un emmanchement à force, dans lequel une pièce centrale est enserrée par une autre pièce dont le diamètre interne est légèrement trop petit. Pour réaliser un tel emmanchement, on
15 chauffe la pièce extérieure, ou on refroidit énergiquement la pièce centrale, ou encore on applique simultanément ces deux traitements. Lors du retour à l'équilibre thermique, la pièce centrale est fortement emmanchée, et en quelque sorte comprimée par la pièce
20 qui l'enserme. L'invention peut alors être appliquée pour créer sur la pièce centrale une zone où les contraintes sont moindres et les dimensions mieux contrôlées.

REFERENCES

- [1] "Constructions soudées, brasage" de Léon Noël
(Techniques de l'ingénieur, référencé B 5195)
5
- [2] US 5 855 313
- [3] US 5 289 965
- 10 [4] US 2 707 540
- [5] US 5 501 390
- [6] "CW RFQ fabrication and engineering" de D. Schrage,
15 L. Young et al. (Los Alamos National Laboratory,
conference Linac 1998)
- [7] "Proton Linear Accelerators, A Theoretical and
20 Historical Introduction" (Los Alamos, LA-11601-MS,
juillet 1989)

REVENDICATIONS

1. Procédé d'assemblage, par brasage ou soudage, de deux pièces (10, 11) dont les cotes d'une
5 des pièces ou de l'assemblage final doivent être respectées avec précision, caractérisé en ce que l'on usine préalablement, dans la pièce dont les cotes doivent être respectées avec la plus grande précision, une gorge (13) de profondeur p supérieure à la
10 profondeur p_{br} d'une zone constituant un contour fermé délimitant un espace où l'assemblage exerce des contraintes, située entre ces cotes et ladite zone, de manière à introduire une certaine élasticité.

15 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ladite zone est la zone de brasage.

3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on insère entre les deux pièces (10, 11) une
20 bague déformable (12).

4. Procédé selon la revendication 1, qui est appliqué à deux pièces dont l'une possède, d'un même côté de la zone de brasage, à la fois des cotes devant
25 être respectées avec précision et au moins un évidement de dimension non négligeable devant les dimensions de cette zone.

5. Procédé selon la revendication 1, qui est
30 appliqué à deux pièces (10, 11) dont les coefficients de dilatation sont différents.

6. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la gorge (13) est pratiquée sur une pièce de l'assemblage située au centre.

5

7. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la gorge (13) est pratiquée sur une pièce de l'assemblage située à la périphérie

10

8. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la gorge (13) a une profondeur p comprise entre 2 et 3 fois la profondeur p_{br} de la zone brasée.

15

9. Procédé selon la revendication 3, dans lequel la bague est d'abord brasée ou soudée sur une des pièces, puis rectifiée pour au moins une cote à respecter, puis brasée ou soudée sur l'autre pièce

20

10. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les paramètres de la gorge sont déterminés à l'aide de simulations de déformations par un code de mécanique en reproduisant chacune des étapes principales du brasage :

25

i- évaluation au juger d'une position et d'une profondeur de gorge qui semblent raisonnables, la profondeur p étant supérieure à la profondeur p_{br} de la zone devant être brasée

30

ii- modélisation, pour chacune des deux pièces des effets de la montée en température, jusqu'à la température de brasage, en prenant notamment en compte l'écart des coefficients de dilatation des matériaux

iii- contrôle sur un appareil métrologique pour relever les cotes d'une liste de points pré-déterminés, leurs coordonnées étant données dans la base de référence.

5 iv- recherche par la méthode des moindres carrés de la position effective de l'alésage et définition d'un nouveau centre, et donc d'une nouvelle base (l'invention suppose que l'alésage est correct mais que son centre effectif peut être décalé)

10 v- décalage entre le premier repère et le second pris en compte pour exprimer dans la nouvelle base les coordonnées des repères initiaux ; ils deviennent ainsi des références qui permettent de centrer la pièce.

15

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel on réalise simultanément tous les brasages dans un four.

20

12. Procédé d'assemblage d'une succession de deux pièces réunies deux à deux selon le procédé de la revendication 1, dans lequel du métal d'apport est placé au contact de chaque couple de pièces à assembler, et l'ensemble est maintenu en position et placé dans un four qui fait fondre en une même opération le métal d'apport, et réalise les divers brasages

25

13. Procédé d'assemblage d'un ensemble de
30 pièces comportant un élément central composé lui-même de plusieurs pièces, réunies en chacune de leurs

extrémités par une pièce qui les entoure, dans lequel seules les brasures entre chaque pièce d'extrémité et les pièces centrales sont effectuées selon le procédé de la revendication 1.

5

14. Utilisation du procédé selon la revendication 1 pour la réalisation d'un accélérateur de type LINAC RFQ.

10

15. Utilisation du procédé selon la revendication 12, dans lequel l'accélérateur de type LINAC RFQ est du type à structure en aube

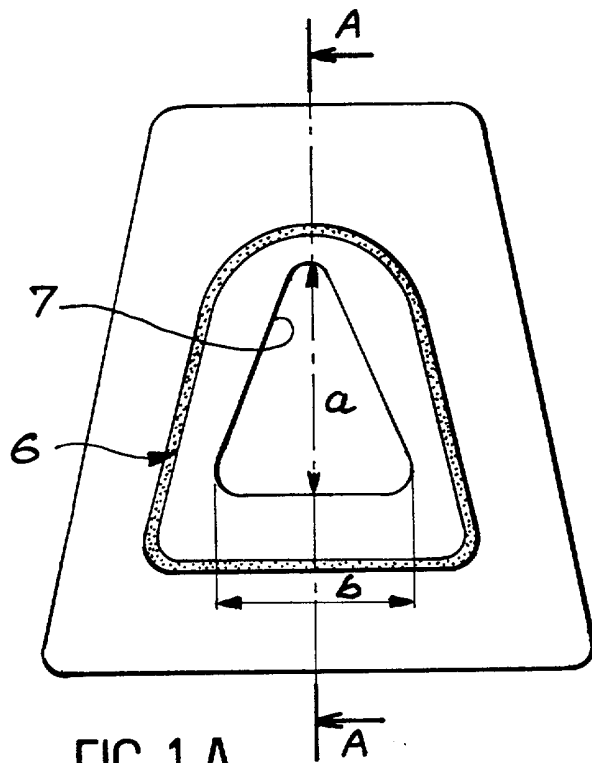


FIG. 1 A

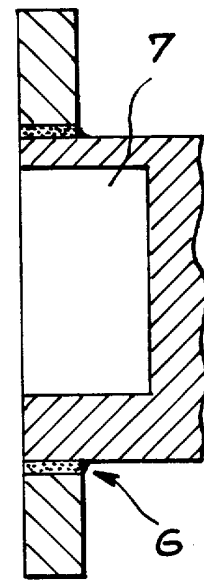


FIG. 1 B

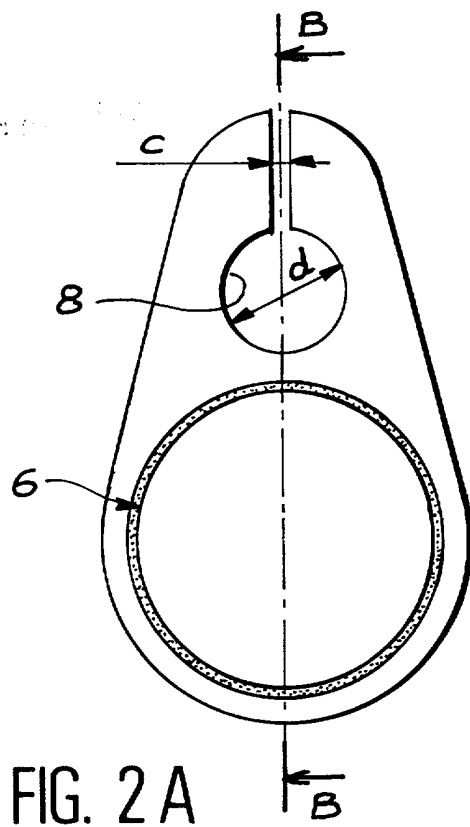


FIG. 2 A

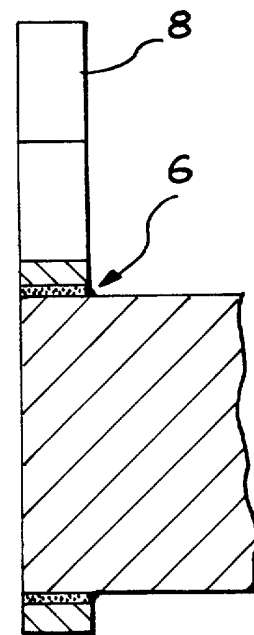


FIG. 2 B

2/5

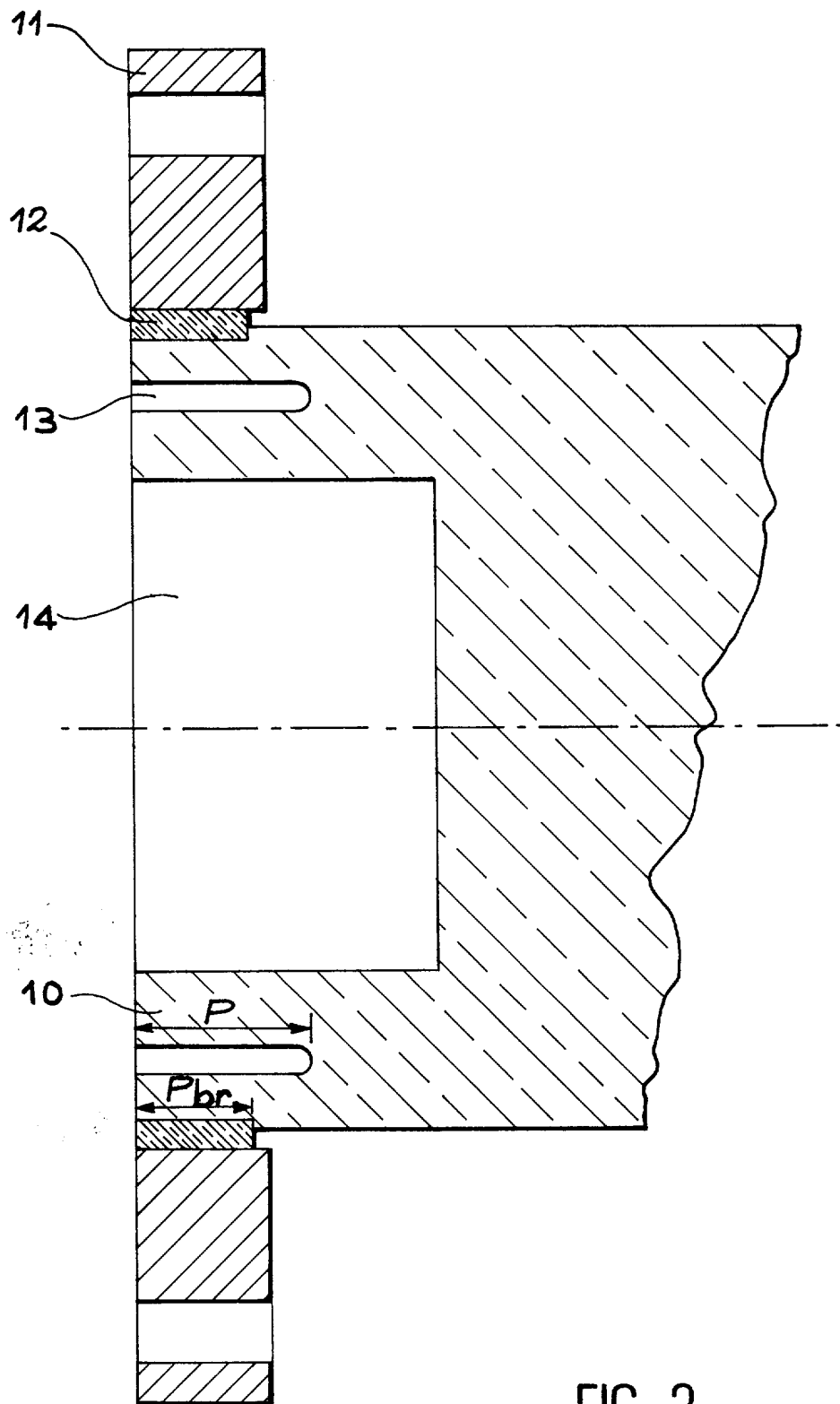


FIG. 3

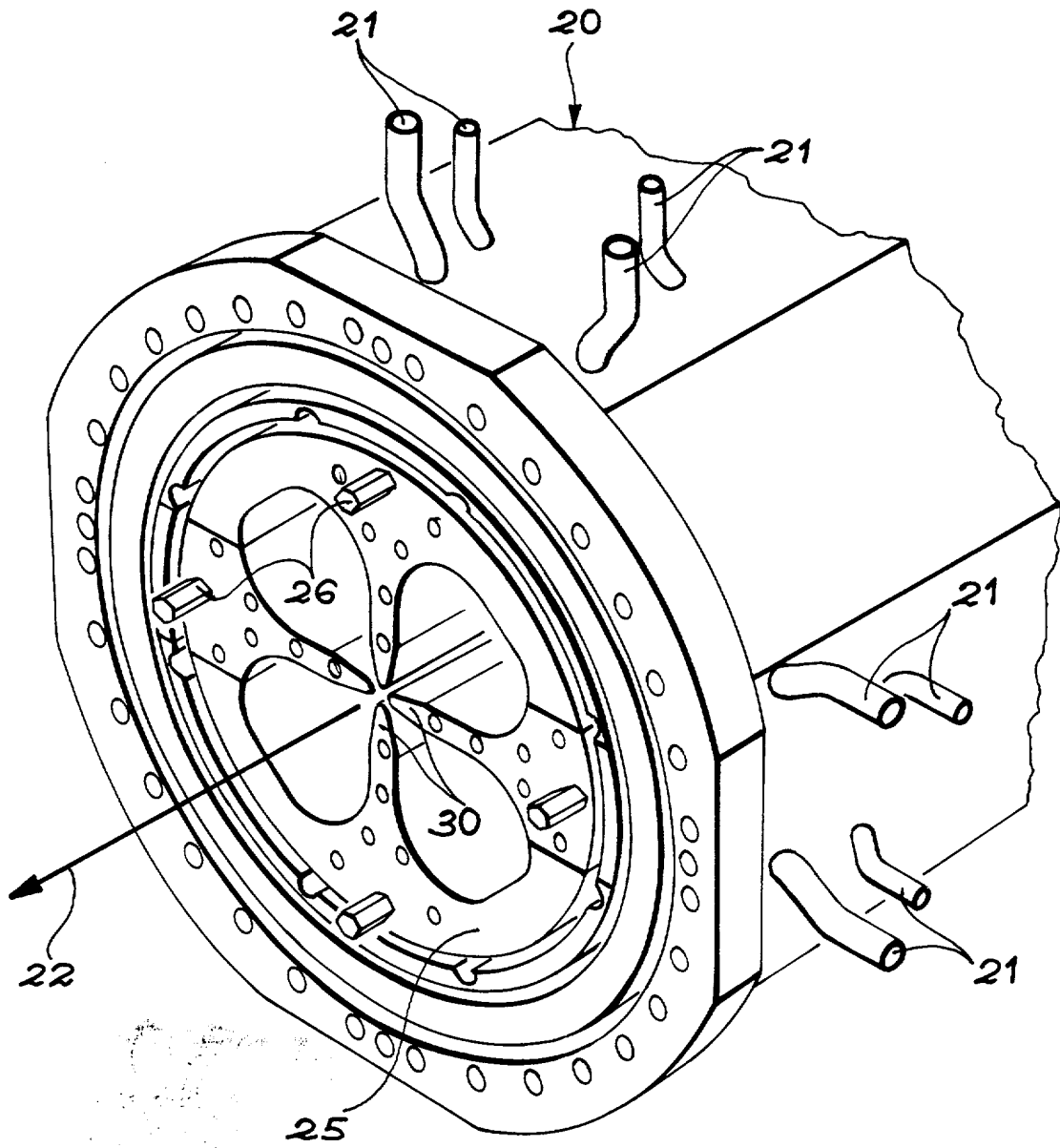


FIG. 4

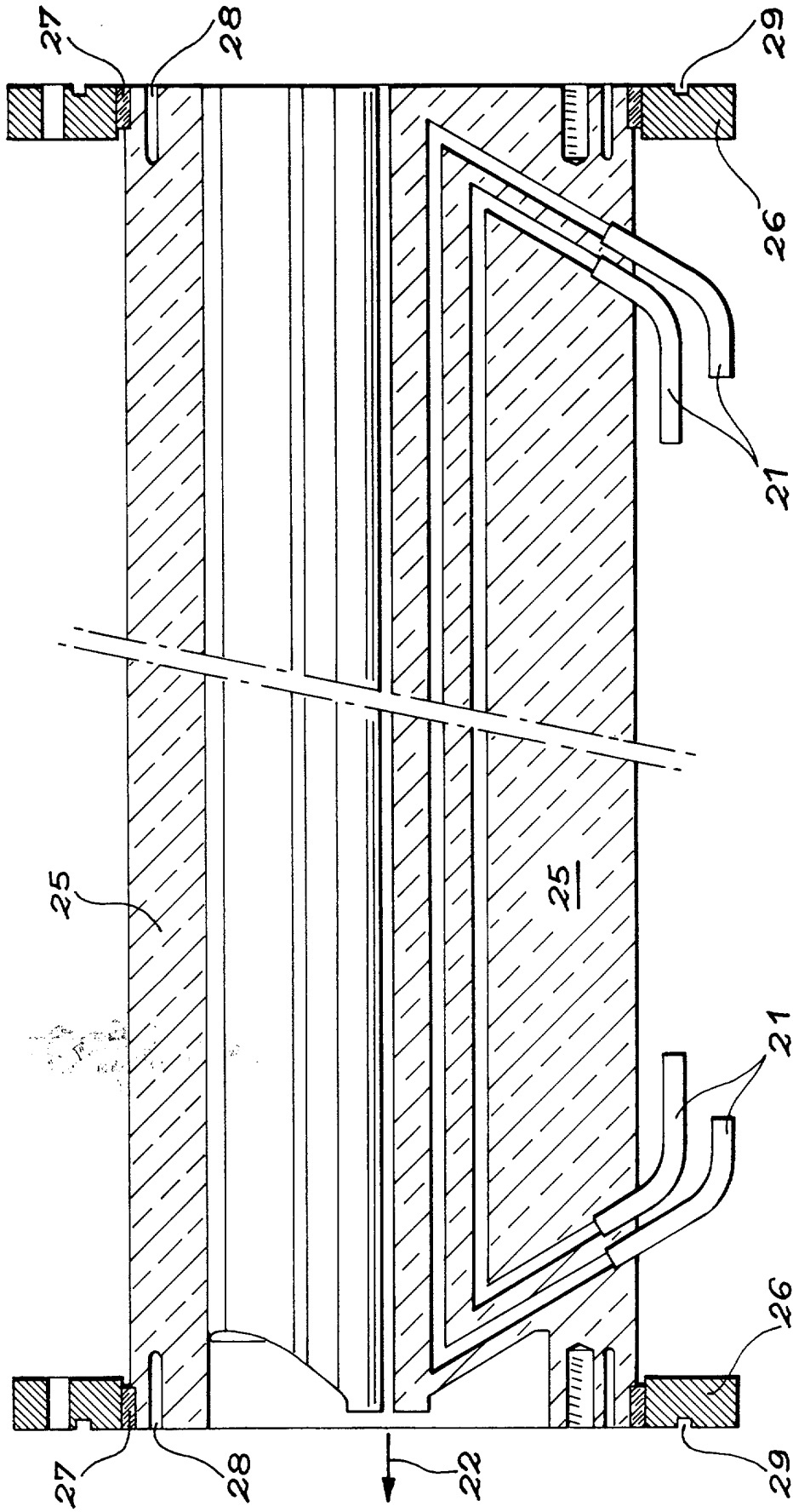


FIG. 5

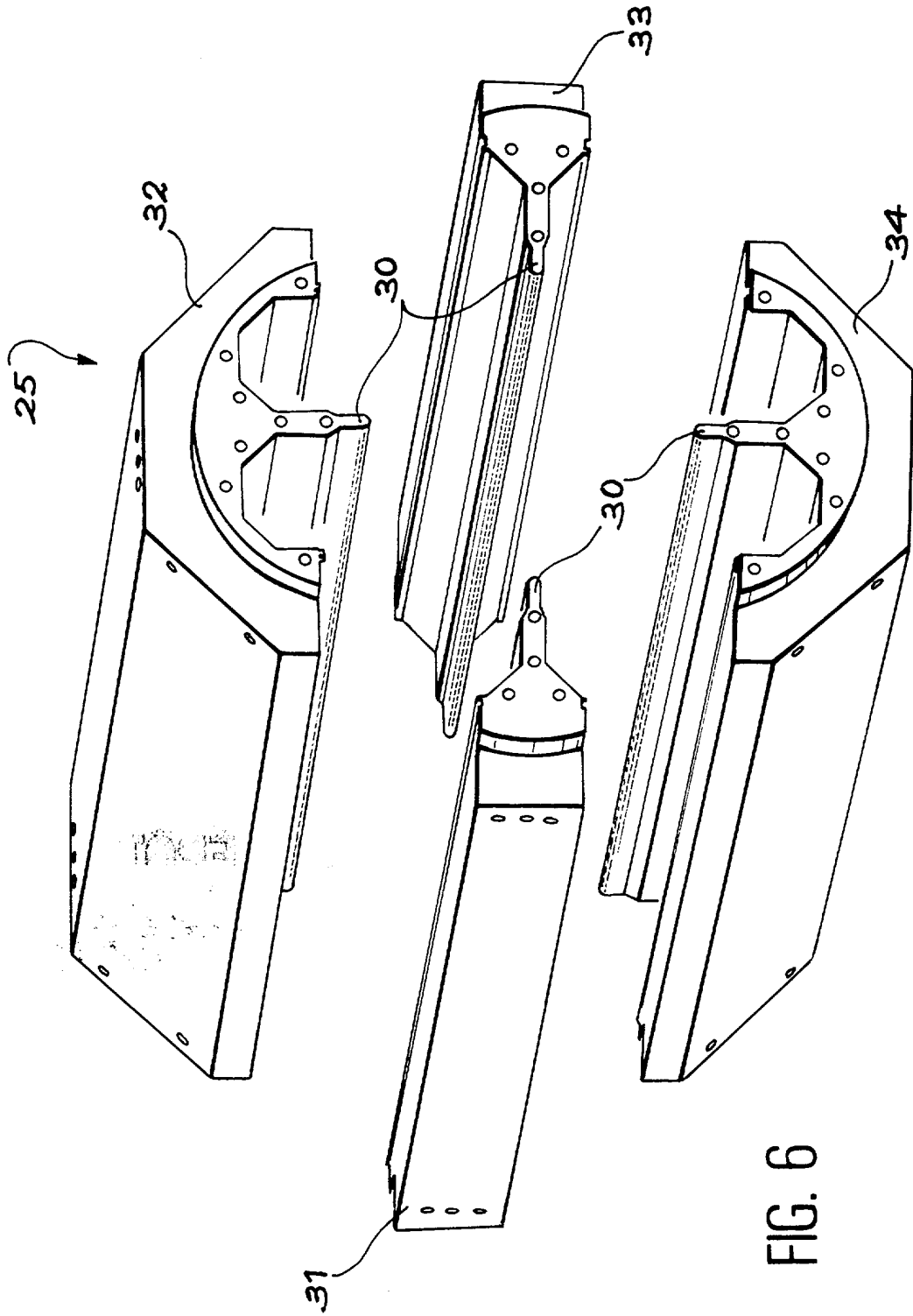


FIG. 6

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 3 807 077 A (DECK ET AL.) 30 avril 1974 (1974-04-30) * revendications 1-10; figures 1,3 *	1	B23K1/008 B23K1/20 H05H7/22
A	DE 24 14 966 A (VEB KOMBINAT LUFT-UND KÄLTETECHNIK) 24 octobre 1974 (1974-10-24) * revendication 1; figures 1,2,4 *	1,2,10, 14,15	
A	DE 620 659 C (VICTORIA-WERKE A.G.) 24 octobre 1935 (1935-10-24) * revendications 1,2; figures 1-5 *	3-6	
A	US 4 394 953 A (SONNWEBER ET AL) 26 juillet 1983 (1983-07-26) * le document en entier *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			B23K
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
9 septembre 2002		Herbreteau, D	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons</p> <p>..... & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

1

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0115719 FA 614567**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 09-09-2002

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3807077	A	30-04-1974	CA	967795 A1	20-05-1975
DE 2414966	A	24-10-1974	DD	104233 A1	05-03-1974
			DE	2414966 A1	24-10-1974
DE 620659	C	24-10-1935	AUCUN		
US 4394953	A	26-07-1983	AUCUN		