



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2003/12/31  
(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2005/03/23  
(30) Priorité/Priority: 2003/09/23 (01623/03) CH

(51) Cl.Int.<sup>7</sup>/Int.Cl.<sup>7</sup> C23C 14/30, B05B 15/12, B05D 3/06,  
B05B 13/02, C23C 14/00, C23C 14/24, C23C 14/22

(71) Demandeur/Applicant:  
GBA S.A., CH

(72) Inventeurs/Inventors:  
GRECHANYUK, MIKOLA, UA;  
KUCHERENKO, PAVLO, UA

(74) Agent: MBM & CO.

(54) Titre : INSTALLATION DE REVETEMENT DE PIECES PAR FAISCEAUX D'ELECTRONS  
(54) Title: INSTALLATION FOR COATING PARTS USING ELECTRON BEAMS

(57) **Abrégé/Abstract:**

Installation de revêtements de pièces par faisceaux d'électrons de type comprenant une chambre (6) avec des moyens pour la maintenir sous vide, des creusets (10, 11) destinés à recevoir des matériaux à vaporiser, des canons à électrons (25, 14) destinés à engendrer la vaporisation des matériaux, un support (18) pour les pièces à revêtir (15) caractérisée en ce que le support (18) est monté sur un axe vertical (22) relié à des moyens pour son entraînement en rotation et comporte, calé, un pignon conique (24) entraînant une série de pignons coniques (23) reliés à des moyens pour la fixation des pièces à revêtir (15) de manière que ces dernières soient des dirigées avec leur extrémité libre tournée vers les creusets.



## ABREGE

**Installation de revêtement de pièces par faisceaux d'électrons.**

Installation de revêtements de pièces par faisceaux d'électrons de type comprenant une chambre (6) avec des moyens pour la maintenir sous vide, des creusets (10, 11) destinés à recevoir des matériaux à vaporiser, des canons à électrons (25, 14) destinés à engendrer la vaporisation des matériaux, un support (18) pour les pièces à revêtir (15) caractérisée en ce que le support (18) est monté sur un axe vertical (22) relié à des moyens pour son entraînement en rotation et comporte, calé, un pignon conique (24) entraînant une série de pignons coniques (23) reliés à des moyens pour la fixation des pièces à revêtir (15) de manière que ces dernières soient des dirigées avec leur extrémité libre tournée vers les creusets.

Figure à publier avec l'abrégé : Figure 4

## **Installation de revêtement de pièces par faisceaux d'électrons.**

La présente invention est relative à la  
5 métallurgie sous vide, et elle peut être utilisée pour le revêtement de produits de profil sophistiqué.

Actuellement, on recherche de plus en plus des  
revêtements ayant des caractéristiques spécifiques  
10 physiques et mécaniques.

On sait que l'évaporation à faisceaux d'électrons  
et la condensation postérieure sous vide de matériaux  
métalliques et non métalliques est un procédé précis pour  
15 la réalisation de matériaux tant au niveau atomique que moléculaire. En faisant varier la température du dépôt de concentration des phases, la vitesse de rotation des produits à revêtir, il est facile d'obtenir un revêtement à gradient de concentration de phases, des revêtements  
20 microporeux ou multicouches.

Naturellement, pour réaliser ces revêtements sur  
des pièces de configuration sophistiquée, par exemple des  
aubes de turbines à gaz, il est nécessaire de disposer de  
25 matériels appropriés à faisceaux d'électrons. On connaît quelques installations de vide destinées à la réalisation des revêtements composites.

Le dépôt de revêtement formé de trois couches est  
30 réalisé dans l'installation de vide multichambres par voie de déplacement du support d'une chambre à l'autre ; dans chacune d'elles une couche est déposée.

Dans la chambre de travail de l'installation de vide, sous le support protégé, on met l'un après l'autre les creusets contenant les matériaux à évaporer.

5 Dans la chambre de travail de l'installation de vide, les évaporateurs fonctionnent alternativement, et le support et la plaque de masques peuvent librement pivoter et être déplacés.

10 Les installations de vide décrites ci-dessus présentent les inconvénients suivants :

15 a) le dépôt des couches : l'une après l'autre, une seule couche à la fois, engendre une basse productivité des installations de vide ;

a) au moment du remplacement des creusets, la vitesse de l'évaporation des composants est variée, du fait de l'hétérogénéité de structure en épaisseur des composants ce qui entraîne la détérioration des caractéristiques physiques et chimiques de l'ensemble ;

20 a) l'inconvénient principal des solutions techniques connues réside dans l'impossibilité de déposer le revêtement de tous côtés. Dans les installations de vides décrites ci-dessus la formation du revêtement de protection est exécutée seulement sur le côté de la pièce tourné vers l'évaporateur.

30 On connaît aussi des matériels de vide pour le dépôt d'un revêtement multicomposants sur toutes les surfaces des pièces ayant un profil sophistiqué (les aubes de turbines à gaz). Toutefois, ces installations ne

permettent pas de réaliser des revêtements à gradient et multicouches.

Il sera donné ci-après un aperçu détaillé des  
5 équipements à faisceaux d'électrons utilisés pour le dépôt  
des revêtements de protection. L'analyse de ces équipements  
montre que l'installation industrielle la plus universelle  
pour le dépôt des revêtements composites protecteurs sur  
des produits de formes sophistiquées est l'installation VЭ-  
10 175 de l'institut de soudage électrique de Y.O. Paton de  
l'Académie Nationale des Sciences de l'Ukraine, dont la  
description détaillée est donnée ci-après. Cette  
installation est destinée notamment pour la formation du  
revêtement de protection contre la corrosion sur la surface  
15 des aubes de turbomoteurs par procédé d'évaporation à  
faisceaux d'électrons. Le processus du revêtement implique  
le nettoyage ionoplasmique à chaud des aubes montées sur un  
châssis, dans une chambre (de préparation), suivi du dépôt  
du matériau évaporé à partir des creusets sur la surfaces  
20 des aubes. Le chauffage et l'évaporation du matériau  
s'effectue sous l'action des faisceaux d'électrons.  
L'installation est composée d'un groupe de chambres à vide  
avec des mécanismes, dispositifs et systèmes assurant le  
déroulement du processus technologique semi-continu. Dans  
25 la chambre de dépôt des revêtements, il est situé deux  
creusets cylindriques du matériau à évaporer qui est formé  
de composants métalliques et trois creusets rectangulaires  
de type "nacelle" pour évaporer des composants métalliques  
ou des composants céramiques. L'évaporation du matériau de  
30 chacun des creusets se passe séparément sous l'action des  
faisceaux d'électrons provenant des canons à électrons  
commandés individuellement.

Puisque les pièces à revêtir (les aubes) pendant le déplacement de la chambre de préparation à la chambre de dépôt de revêtements se sont refroidies, au-dessus de la chambre de dépôt est installé un canon supplémentaire pour réchauffer les aubes avant de déposer le revêtement. Lors du réchauffage, les pièces à revêtir sont isolées des creusets par des volets. Lorsque les pièces à revêtir ont atteint la température nécessaire (contrôlée à l'aide de pyromètres et thermocouples), les volets sont ouverts et le processus de dépôt du revêtement commence.

Les brevets Etats-Unis n° 4 122 221 du 24 Octobre 1978 et Allemagne n° 2 813 180 du 4 Octobre 1979 décrivent une installation permettant de former non seulement des revêtements multicomposants de type MeCrAlY, où Me-Co, Ni, Fe, mais aussi des revêtements composites de type MeCrAlY-Me-O, ou Me-C.

L'exploitation pilote desdites installations dans des entreprises de la Russie (le Groupement scientifique et productif "Troude", ville de Samara, Usine de constructions mécaniques de Lytkarynsk, région de Moscou), de l'Ukraine (SPB "Machprojet", ville de Mykolaïv, l'Usine de turbines du sud "Zoria", ville de Mykolaïv) a permis de découvrir des inconvénients constructifs. Le chauffage préalable des aubes dans les chambres a été reconnu comme inopportun. Dans les chambres, à la suite des chargements-déchargements continus, le condensat de l'air est accumulé et après le réchauffage des pièces engendre la formation de pellicules d'oxyde sur leurs surfaces. Lors du dépôt d'un revêtement protecteur, la présence de la couche d'oxyde provoque inévitablement une dissociation du revêtement au cours de l'exploitation des pièces.

Lors de l'évaporation des composés oxydés, carburés ou borurés du creuset de type "nacelle" des cratères se forment sur la surface et entraînent inévitablement la variation de la vitesse de l'évaporation de ces composés de sorte que les revêtements composites de type MeCrAlY-Me-O, Me-C, Me-B ont une composition chimique hétérogène et sont impropres à l'exploitation.

Pour ces raisons, la construction de l'installation Y9-175 a été modifiée et ses versions postérieures (installations Y9-187, Y9-177 M) sont munies d'un bloc de creusets composé de quatre creusets cylindriques alignés en une rangée. Ce type de bloc de creusets permet d'assurer l'alimentation continue des matériaux consommés dans la zone d'évaporation. Dans les creusets, on peut charger les produits coulés ou des barreaux céramiques ayant jusqu'à 800 mm de longueur. Tous les canons sont équipés de programmeurs de balayage des faisceaux d'électrons. Ainsi, par voie d'une sélection du programme de balayage approprié, il est possible d'assurer la vaporisation régulière des composants qui sont sublimés au réchauffage par faisceaux d'électrons sans former des cratères. Les installations de ce type sont munies d'un système de commande automatisé. Ainsi avec l'élaboration d'un programme approprié, il est facile de former des revêtements composites de type durci par dispersion ou microcouche respectivement MeCrAlY-MeO, MeC, MeB ou MeCrAlY/ MeCrAlY+MeO, MeC, MeB pour obtenir un revêtement à gradient de phases dans l'épaisseur. Des installations industrielles de type Y9-187 M sont exploitées à l'Institut de soudage électrique de Y.O. Paton de l'Académie Nationale des Sciences de l'Ukraine pour le dépôt des revêtements de deux ou plusieurs couches ainsi que par les firmes des

Etats-Unis d'Amérique et d'Allemagne, en particulier par la firme américaine "Pratt and Whitney".

Malgré les possibilités étendues desdites installations, actuellement la firme américaine "Pratt and Whitney" utilise un procédé combiné de dépôt des revêtements de protection thermique. La couche intérieure métallique Ni(Co)CrAlYHfSi est déposée par pulvérisation au plasma et la couche extérieure céramique par sédimentation à faisceaux d'électrons.

Une telle solution technique rend impossible l'addition d'une quantité nécessaire de l'yttrium, de l'hafnium, de silicium, de zirconium en couche intérieure métallique par voie de l'évaporation d'une seule source.

Le bloc des creusets avec la disposition linéaire de quatre creusets cylindriques peut être utilisé pour obtenir des revêtements métalliques MeCrAlY dopés en addition du zirconium, de l'hafnium ou du silicium. On peut obtenir par voie d'évaporation indépendante des sources autonomes (creusets) des alliages de type MeCrAlY et des métaux résistant à de hautes températures. Cependant, à cause de la disposition linéaire des creusets, il est difficile d'assurer une répartition régulière des composants dans le revêtement sur toute la longueur de l'ailette d'une aube, par exemple pour un alliage MeCrAlY on prévoit une évaporation du creuset central, l'additif dopant (hafnium) du creuset droit et du creuset gauche, voisins du creuset central. Lorsque l'addition simultanée à la composition de revêtement d'un additif supplémentaire, par exemple, du silicium est nécessaire, il est impossible d'utiliser un tel schéma parce que par évaporation de trois

matériaux différents de trois creusets autonomes, on ne peut obtenir l'homogénéité chimique de la composition chimique du revêtement.

5 Avec l'installation ci-dessus, il est impossible de déposer des revêtements thermoprotecteurs à deux couches de type MeCrAlYHfSi/MeO pendant un cycle technologique parce que préalablement il faut charger les composants de la couche métallique dans au moins trois creusets et  
10 seulement après cela utiliser ces creusets pour le dépôt de la couche céramique. Pour cette raison, dans les installations Y9-175, Y9-187 fabriquées en série, on a proposé une nouvelle construction d'un bloc de creusets permettant d'éliminer lesdits inconvénients. Ce bloc des  
15 creusets est équipé de creusets de type "nacelle", fabriqués en forme de demi-bagues et approchées en maximum du creuset central. Ladite construction du bloc de creusets permet d'évaporer l'alliage MeCrAlY du creuset central, des additifs dopants Y, Hf, Si, Zr des creusets de type  
20 "nacelle", et le composant céramique de trois autres creusets cylindriques. Les composants dopants Y, Hf, Si, Zr sont placés dans les creusets sous forme de comprimés (pesés, produits coulés) et situés selon un schéma géométrique précis au périmètre des creusets. La masse des  
25 comprimés (produits coulés) de Y, Hf, Si, Zr et le schéma géométrique de leur placement dans les creusets sont établis à partir du calcul de la concentration nécessaire desdits éléments dans la couche MeCrAlYHfSiZr, ainsi que les dimensions des produits à revêtir.

30

Le canon à faisceaux d'électrons utilisé à l'évaporation des composants dopants Y, Hf, Si, Zr est muni du bloc électronique spécial permettant, par mise en œuvre

d'un programme donné, de varier la densité du faisceau électronique au périmètre de la surface des creusets dans lesquels des comprimés (produits coulés) de composants dopants Y, Hf, Si, Zr sont chargés. Ainsi, par voie de la  
 5 variation de la densité du faisceau électronique, les dimensions géométriques des barreaux (produits coulés) de composants dopants et leur placement dans les creusets, on a réussi à obtenir la concentration nécessaire des additifs dopants dans le revêtement sur toute la surface des pièces  
 10 à revêtir.

Grâce au dopage des compositions maîtres MeCrAlY, Y, Hf, Si, Zr, à la présence des inclusions dispersées d'oxydes dans les microcouches composites, le processus de  
 15 diffusion par les interfaces des couches pourra être complexe. De plus, des zones sur la base de spinelles complexes de type  $2Y_2O_3 \cdot Al_2O_3$ ,  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  seront formées de 2 à 2,5 fois plus lentement qu'aux mêmes conditions des essais dans le revêtement de deux couches MeCrAlY/MeO.

20

Les installations industrielles à faisceaux d'électrons de type Y9-175, Y9-187 munies de tels blocs de creusets permettent de faire des revêtements protecteurs pratiquement de toutes gammes, à partir de ceux les plus  
 25 simples de type MeCrAlY jusqu'à ceux de ceux de deux couches de type MeCrAlYHfSiZr/Me et à ceux de trois couches MeCrAlYHfSiZr/ MeCrAlYHfSiZr+MeO/ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, où MeO- est l'oxyde d'aluminium ou dioxyde de zirconium stabilisé par l'oxyde d'yttrium. A cela la couche composite  
 30 MeCrAlYHfSiZr+MeO- peut être exécutée comme la couche de MeCrAlYHfSiZr métallique et la couche de MeCrAlYHfSiZr+MeO composite, alternées de 0,5 à 1,2 µm d'épaisseur de la microcouche. Il existe aussi la possibilité de faire les

revêtements à gradient de la concentration des composants et des composés, etc.

Une nouvelle génération d'installations de  
5 turbines à gaz permet l'élaboration d'aubes non refroidies  
revêtues à base de métaux et d'alliages hautes  
températures. Actuellement, l'obtention des alliages à base  
de métaux hautes températures ayant des propriétés  
mécaniques de haut niveau pose un problème. Le problème  
10 principal de leur utilisation étendue dans la construction  
de turbine à gaz est la protection efficace des alliages  
contre l'oxydation au cours de l'exploitation sur un long  
laps de temps (centaines ou milliers d'heures). Les  
revêtements siliciurés durcis par dispersion,  
15 particulièrement ceux modifiés par les éléments dopants  
comme le bore, l'aluminium, le titane, le chrome, etc.  
constituent l'un des types principaux de revêtements qui  
protègent les métaux hautes températures et leurs alliages  
contre l'oxydation à haute température. Aux Etats-Unis, la  
20 réalisation de revêtements protecteurs contre la haute  
température est appliquée par environ 100 firmes  
industrielles et centres scientifiques, dont une grande  
partie travaille dans le domaine de la création des  
revêtements réfractaires pour les métaux hautes  
25 températures. On a constaté que pour la gamme des hautes  
températures (jusqu'à 1573 à 2003 K), c'est l'utilisation  
des intermétalloïdes, notamment de siliciures, qui offre  
les meilleures perspectives. Mais les études réalisées  
pendant les trois dernières décennies, n'ont eu comme  
30 résultat que la création des revêtements efficaces de  
siliciures pour protéger des produits fabriqués en des  
métaux et alliages hautes températures qui peuvent être  
utilisés durant un long laps de temps et dans des

conditions extrêmes d'exploitation.

On a décrit en détail les principaux procédés de formation des revêtements siliciurés et des équipements 5 industriels nécessaires pour cette exploitation. On peut distinguer les procédés principaux suivants de la formation de revêtements siliciurés :

- 10 1) Saturation obtenue des mélanges gaz-vapeur contenant les composés du silicium, surtout ceux d'haloïde, avec ou sans l'hydrogène (la siliciuration dans la phase gazeuse) ;
- 15 2) Saturation obtenue dans les vapeurs du silicium (siliciuration sous vide) ;
- 3) Saturation obtenue da la phase liquide par électrolyse ou sans elle (siliciuration dans la phase liquide) ;
- 20 4) Saturation obtenue dans les mélanges en poudre contenant le silicium, en présence des activateurs (siliciuration solide dans la phase liquide).

25 Il est à noter que les revêtements siliciurés sous vide ont les meilleures caractéristiques techniques. La siliciuration sous vide est exécutée notamment dans la charge de la poudre du silicium de haute pureté ; en outre, on peut l'exécuter à condition que les métaux à saturer et 30 le silicium soient éloignés l'un de l'autre et puissent être chauffés à des températures différentes. Mais le processus de la siliciuration sous vide est long, cher et représente une faible productivité, d'autant plus que les pièces ont des formes complexes et un grand encombrement.

La principale propriétés des revêtements siliciurés est la résistance à la chaleur. Les disiliciures des métaux des sous-groupes IV et VI sont caractérisés par la résistance à chaleur la plus haute. Leur comportement à l'air ou à l'oxygène (à diverses pressions), dans une gamme étendue des températures, est connu. On peut ranger les disiliciures des sous-groupes IV et VI selon l'accroissement de la résistance à l'oxydation à l'air dans la formule suivante :  $TiSi_2$ ,  $ZrSi_2$ ,  $NbSi_2$  sont résistants aux températures de 1073 à 1373 K ;  $TaSi_2$  - de 1373 à 1673 K ;  $CrSi_2$ ,  $Wsi_2$  - de 1673 à 1973 K,  $MoSi_2$  - de 1973 à 2073 K.

La création des revêtements sur la base des composés complexes de siliciures dopés en supplément du bore, du titane et d'autres éléments suscite un grand intérêt.

On peut obtenir un accroissement supplémentaire de la fiabilité des produits avec des revêtements siliciurés par la voie de la formation des revêtements combinés de deux couches de type siliciure/oxyde ( $MeSi_2/MeO$ ).

Cependant les procédés traditionnels du dépôt des revêtements siliciurés ne permettent pas de former des revêtements semblables de deux couches ou de plusieurs couches.

L'évaporation à faisceaux d'électrons suivie de la condensation sous vide des matériaux métalliques et non métalliques ouvre certaines possibilités pour la formation de tels revêtements.

Néanmoins, les constructions des installations à faisceaux d'électrons décrites ci-dessus ne permettent pas de réaliser industriellement le dépôt de revêtements siliciurés sur les pièces pour les raisons suivantes : on sait que Si, Ti, Zr, Nb, W, Cr- sont essentiellement distingués en tension des vapeurs. C'est pourquoi, l'évaporation des composés de type  $MeSi_2$  à partir d'un creuset n'est pas possible. Dans les installations industrielles à faisceaux d'électrons avec l'évaporation de plusieurs creusets et une disposition linéaire des creusets, il est possible de synthétiser les composés dans la phase de vapeur. Cependant, dans ce cas, on a constaté l'apparition d'une hétérogénéité importante du composé chimique du revêtement siliciuré correspondant à la longueur d'une pièce qui est recouverte par exemple à l'évaporation Ti et Si de deux creusets situés en ligne. Le dépôt de revêtements siliciurés plus complexe de quatre creusets disposés en ligne n'est pas réalisable.

Les revêtements siliciurés peuvent être synthétisés dans les installations à faisceaux d'électrons avec plusieurs creusets disposés circulairement. Une telle réalisation est décrite ci-après.

Les produits de départ en forme de produits coulés ou de barreaux frittés ont été montés dans quatre creusets en cuivre refroidis par eau de 70 mm de diamètre situés circulairement. Les produits coulés ou les barreaux ont été montés sur les tiges en cuivre refroidies par eau et liées avec des mécanismes d'amenée verticale. Le dépôt des flux de vapeurs divisés ou mêlés a été fait sur un support tournant fabriqué en acier inox de 8 mm en forme de disque de 520 mm de diamètre. La vitesse de rotation du support a

été réglée dans la gamme de 0,05 à 200 t/min.

La vitesse de rotation est strictement constante et ce à l'aide du bloc monophasé à thyristors 9TO 1. Six réchauffeurs à faisceaux d'électrons de puissance de 60 kW chacun sont destinés à faire évaporer les produits de départ et à réchauffer le support.

L'installation est munie des unités de contrôle des réchauffeurs à faisceaux d'électrons. Le système d'automatisation utilisé permet de soutenir et de régler la vitesse nécessaire de l'évaporation de chacun des composants au cours de tout le processus technologique, ainsi que de faire évaporer des matériaux au mode pulsatoire.

A ladite installation, grâce à la modification de la géométrie de la disposition des quatre creusets, il est facile de synthétiser les revêtements siliciurés par une couche ou deux couches, par exemple, en faisant évaporer du Ti et du Si de deux creusets situés l'un à côté de l'autre, du Zr et du Si de deux autres creusets. En utilisant ledit schéma technologique, il est aussi facile de former les revêtements de deux couches de type  $MeSi_2/MeO$ . Cependant, ladite installation permet de faire le dépôt des revêtements seulement sur un côté des pièces à revêtir. La productivité est très basse, parce qu'après le dépôt d'un revêtement, il faut prévoir un temps de refroidissement des pièces et charger un nouveau lot de pièces à revêtir dans la chambre principale. L'ouverture fréquente de la chambre principale engendre la formation du condensat de l'humidité de l'air sur les parois de la chambre. Lors du réchauffement des produits, l'humidité des parois de la

chambre est condensée sur leur surface en formant les oxydes superficiels causant l'écaillage du revêtement déposé.

5 L'installation la plus proche de l'invention est l'installation décrite dans le brevet japonais n° 54-18989 du 4 octobre 1977 et qui est représentée aux figures 1 et 2.

10 Cette installation est destinée au dépôt de revêtement sur des barres, mais elle ne peut s'appliquer à la réalisation de revêtements sur des aubes de turbines à gaz.

15 On peut noter les différents inconvénients ci-après :

20 a) les pièces à revêtir sont logées à partir d'une ouverture de la chambre de travail ce qui engendre une action négative de l'adhésion de la couche pulvérisée à la base ;

b) la construction du support pour les pièces à revêtir est complexe ;

25 c) la protection des organes d'entraînement des pièces à revêtir est délicate. L'accroissement du condensat sur ces organes engendre un freinage et éventuellement un gauchissement qui exclut un entraînement régulier des pièces à revêtir et donc la formation d'un revêtement  
30 uniforme.

d) Les pièces à revêtir étant disposées tout autour d'un support, plus celui-ci porte des

pièces, plus est importante la surface du support de sorte que la vapeur d'alliage n'atteint pas les pièces à revêtir.

5 La présente invention remédie à ces divers inconvénients.

L'invention va maintenant être décrite avec plus de détails en se référant à un mode de réalisation  
10 particulier donné à titre d'exemple seulement et représenté aux dessins annexés.

Figure 3 montre schématiquement en coupe l'installation, selon l'invention.

15

Figure 4 montre en coupe à plus grande échelle la chambre technologique.

Figure 5 est une vue en coupe suivant la ligne 5-5  
20 de la figure 4.

L'installation de la figure 3 comprend quatre chambres sous vide raccordées entre elles, une chambre principale technologique 6, une chambre de passage 7 et  
25 deux chambres 8 et 9.

La chambre technologique comprend des creusets 10 et 11 refroidis par une circulation d'eau et dans lesquels sont agités des matériaux coulés 12 et 13 devant servir à  
30 la réalisation du revêtement protecteur. Le nombre de creusets peut varier en fonction de la composition chimique du matériau.

Dans la chambre 6 s'étend un ensemble de support comprenant un axe 21 sur lequel est calé un pignon conique 19 et entraîné en rotation par des moyens non représentés. L'axe 21 est guidé dans un manchon 20.

5

Le pignon conique 19 coopère avec une série de pignons coniques 23 maintenus par un pignon 22 tournant fou sur l'axe 21. Chaque pignon conique 23 est pourvu de moyens pour la fixation d'une pièce à revêtir 15 avec une bague 24 de protection des pignons 23.

Des canons 14 à faisceaux d'électrons (débouchent dans la chambre 6 et sont dirigés vers les creusets 10 et 11. Les canons sont destinés à vaporiser les matériaux des creusets 10 et 11;

Pour le chauffage préliminaire des pièces 15 à revêtir, on utilise des canons électroniques 25. Au cours de ce processus, les pièces à revêtir sont protégées par des écrans mobiles 26 afin d'éviter le dépôt d'un condensat sur lesdites pièces insuffisamment chauffées.

Lorsque la bonne température est atteinte, les écrans 26 s'ouvrent selon un programme donné, à l'aide d'un système automatisé.

Comme montré à la figure 5, l'installation peut comprendre une série de creusets 16, 17 ; le pourcentage de matériau vaporisé et destiné à revêtir la pièce est plus important au voisinage de l'axe vertical des creusets et diminue lorsque ladite pièce s'éloigne dudit axe.

On peut prévoir des écrans verticaux s'étendant jusqu'au voisinage des pièces à revêtir afin de réaliser des revêtements ce qui facilite la réalisation de revêtements microcouches, sans interface de transition et  
5 de concentration entre les couches.

Dans le mode de réalisation représenté à la figure 3, lorsque les pièces sont convenablement revêtues, un manipulateur 27 accroche le support 18 et le soulève  
10 pour l'amener dans la chambre de passage 7, puis le déplace pour le loger dans la chambre 8 sur un organe d'appui 28 de manière que les pièces revêtues soient refroidies. Durant le refroidissement, on place dans la chambre 7 un second support 18 garni de nouvelles pièces à revêtir. La chambre  
15 8 est fermée par une porte 29 et le refroidissement est accéléré par envoi d'air dans la chambre 8.

Dans la chambre 9 ainsi garnie, on fait le vide, puis le manipulateur 27 prélève le support de la chambre 9  
20 et l'amène dans la chambre 6 pour un nouveau processus de revêtement et ainsi de suite.

Le manipulateur 27 comporte un chariot 30 mobile sur des rails 31 et logé dans la chambre 7. Le chariot est  
25 pourvu de moyens 32 coopérant avec une tige 33 pourvue d'une pince 34 destinée à coopérer avec l'organe d'accrochage 39 du support 18. La pince 34 peut être commandée par un électro-aimant 35. Le chariot 30 comporte des moyens électromécaniques pour commander le coulisement  
30 vertical de la tige 33 ainsi que son déplacement sur les rails 31.

Il est prévu un écran mobile 36 qui peut être effacé pour la mise en place du support 18 dans la chambre 6 et remplacé ensuite afin de séparer la chambre 6 de la chambre 7 et ainsi l'arrivée du condensat dans la chambre 7 lors du processus de revêtement.

L'installation comporte un système de vérification stroboscopique 37 du processus de revêtement disposé sur une porte de la chambre 6.

10

L'installation, selon l'invention, est plus simple que les installations connues et permet de déposer des revêtements de tous types.

15 Les exemples ci-après montrent les possibilités offertes par l'installation :

1) dépôt d'un revêtement monocouche de type MeCrAlY sur des aubes des turbines. Dans les creusets 10, 20 11 de la chambre 6, on place des matériaux coulés de l'alliage NoCrAlY. Dans les chambres 8, 9, on charge les supports avec les pièces à revêtir. L'installation est étanchée et traitée au vide. Après que le degré nécessaire de vide ait été atteint, le support 18 avec les pièces est 25 placé dans la chambre de travail 6, les écrans 26 sont fermés à l'aide des canons électroniques 25, on chauffe les produits 15 jusqu'à la température donnée, tandis qu'avec les canons à faisceaux d'électrons 14, on effectue le passage au mode déterminé de la vaporisation des matériaux 30 coulés 12, 13. Après chauffage des pièces et vaporisation des matériaux, les écrans 26 sont ouverts et on effectue le dépôt du revêtement sur les produits.

2) dépôt d'un revêtement monocouche de type MeCrAlYHfSi sur des aubes de turbines à gaz.

Dans les creusets 10, 11 de la chambre 6, on place  
5 les produits coulés de l'alliage CoCrAlY et dans les  
creusets 16, 17 respectivement les produits coulés de  
l'hafnium et du silicium. Dans les chambres 8, 9, on charge  
les supports 18 avec les pièces à revêtir. L'installation  
est étanchée et on fait le vide. Après que le degré  
10 nécessaire de vide ait été atteint, le support 18 avec les  
pièces est placé dans la chambre 6. Les écrans 26 étant  
fermés à l'aide des canons à faisceaux d'électrons 25, on  
chauffe les pièces 15 jusqu'à la température donnée, et il  
est effectué en même temps le passage au mode de  
15 vaporisation des matériaux coulés placés dans les  
creusets 11, 12, 13, 14. Les écrans 26 sont ensuite ouverts  
et il est effectué le dépôt du revêtement sur les pièces.

3) dépôt d'un revêtement à deux couches de type  
20 MeCrAlY/ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sur des aubes de turbines à gaz.

Dans les creusets 11, 12 de la chambre de  
travail 6, on place des matériaux coulés de l'alliage  
CoCrAlY ou MeCrAlY, et dans les creusets 16, 17  
25 respectivement les barreaux de céramique ZrO<sub>2</sub> - de 6 à 8%  
massique de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dans les chambres 8, 9 respectivement, on  
place les supports 18 garnis de pièces à revêtir 15.  
L'installation est étanchée et le vide est fait, le support  
18 avec les pièces 15 est placé dans la chambre 6. Les  
30 écrans 26 étant fermés à l'aide des canons à faisceaux  
d'électrons 25, on chauffe les pièces 15 jusqu'à une  
température déterminée et on effectue le passage au mode de  
vaporisation des matériaux coulés et des barreaux placés

dans les creusets 11, 12, 16 et 17. Après le chauffage des produits et la vaporisation des matériaux, on déconnecte les canons dirigés vers les creusets contenant la céramique et les écrans 26 sont ouverts. On effectue le dépôt de la  
5 couche interne métallique MeCrAlY. Après l'achèvement du processus du dépôt de la couche interne métallique résistant aux hautes températures, les canons vaporisant l'alliage MeCrAlY sont déconnectés, et les canons vaporisant la céramique sont connectés et ainsi la  
10 formation du revêtement extérieur céramique  $ZrO_2-Y_2O_3$  est effectuée. Le dépôt du revêtement de deux couches MeCrAlY/ $ZrO_2-Y_2O_3$  est effectué au cours d'un seul cycle technologique. Il est facile de créer une interface déterminée de faible transition de concentration entre les  
15 composants métallique et céramique du revêtement à deux couches.

4) dépôt d'un revêtement siliciuré de type  $CrSi_2-MoSi_2$  sur des aubes de turbines à gaz.

20

Dans les creusets 11, 12, 16, 17, on place successivement les produits coulés du chrome, du silicium, du molybdène. Après le traitement sous vide et le passage aux modes de vaporisation de chauffage des pièces à  
25 revêtir, les écrans 26 sont ouverts et on effectue le dépôt du revêtement siliciuré ayant un composé chimique complexe. En faisant varier les vitesses de vaporisation du Cr, Mo et Si, il est facile de régler la composition chimique des revêtements.

30

5) dépôt d'un revêtement microcouche de  $CrSi_2-MoSi_2$  sur des aubes de turbines à gaz.

Le processus du dépôt du revêtement microcouche est différent de celui décrit dans l'exemple 4, car il est exécuté par enclenchement alterné avec les intervalles 5 déterminés des canons à faisceaux d'électrons qui font vaporiser les produits coulés du Cr, Si et Mo respectivement. On peut former des revêtements avec l'alternance des couches de siliciure de chrome/siliciure de molybdène ayant des épaisseurs et compositions chimiques 10 déterminés, en fonction de l'intervalle de temps et de la vitesse de la vaporisation des composants.

Ces exemples ne sont pas limitatifs et on pourrait en citer d'autres.

15

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit et représenté. On pourra y apporter de nombreuses modifications de détail sans sortir pour cela du cadre de l'invention.

20

25

30

## REVENDEICATIONS

1. Installation de revêtements de pièces par  
5 faisceaux d'électrons de type comprenant une chambre (6)  
avec des moyens pour la maintenir sous vide, des creusets  
(10, 11) destinés à recevoir des matériaux à vaporiser, des  
canons à électrons (25, 14) destinés à engendrer la  
vaporisation des matériaux, un support (18) pour les pièces  
10 à revêtir (15) caractérisée en ce que le support (18) est  
monté sur un axe vertical (22) relié à des moyens pour son  
entraînement en rotation et comporte, calé, un pignon  
conique (24) entraînant une série de pignons coniques (23)  
reliés à des moyens pour la fixation des pièces à revêtir  
15 (15) de manière que ces dernières soient des dirigées avec  
leur extrémité libre tournée vers les creusets.

2. Installation de revêtements de pièces par  
faisceaux d'électrons, selon la revendication 1,  
20 caractérisée en ce qu'elle comporte des volets (26) pour  
isoler les pièces à revêtir (15) durant un préchauffage  
desdites pièces à revêtir.

3. Installation de revêtements de pièces par  
25 faisceaux d'électrons, selon la revendication 1,  
caractérisée en ce que le support (18) des pièces à revêtir  
est monté de manière amovible sur l'axe vertical (22).

4. Installation de revêtements de pièces par  
30 faisceaux d'électrons, selon les revendications 1 et 3,  
caractérisée en ce qu'elle comporte une première chambre  
(9) destinée à recevoir un support (18) garni de pièces à  
revêtir (15), des moyens pour faire le vide (27) dans

ladite première chambre, une chambre de passage (7) maintenue sous vide et comportant un manipulateur (27) pour prélever le support logé dans la première chambre et l'amener dans la chambre (6) dans laquelle les pièces à 5 revêtir doivent être revêtues et une troisième chambre (8) de refroidissement destinée à recevoir le support avec les pièces (15) revêtues.

10

15

20

25

30

1/3

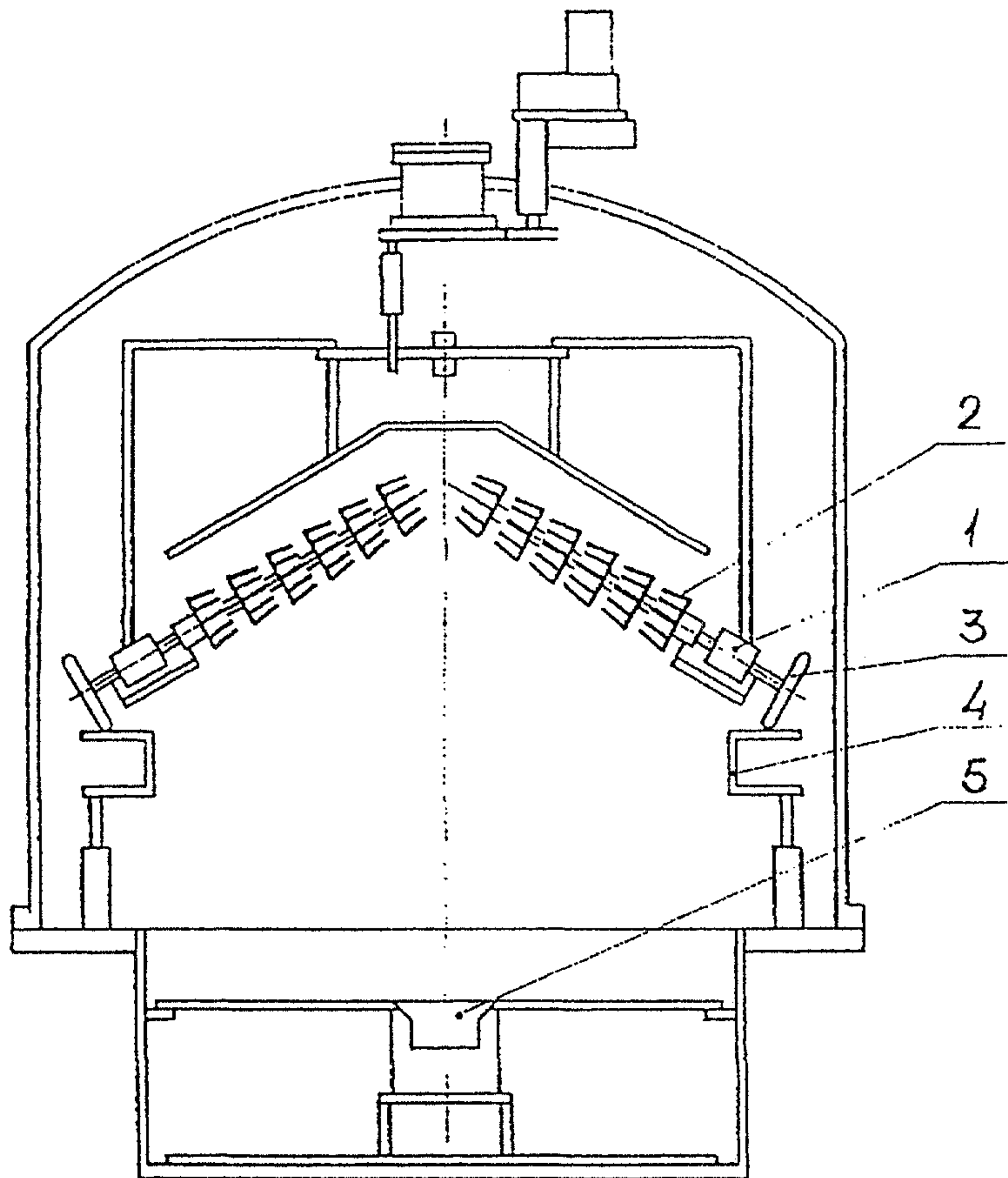


FIG.1

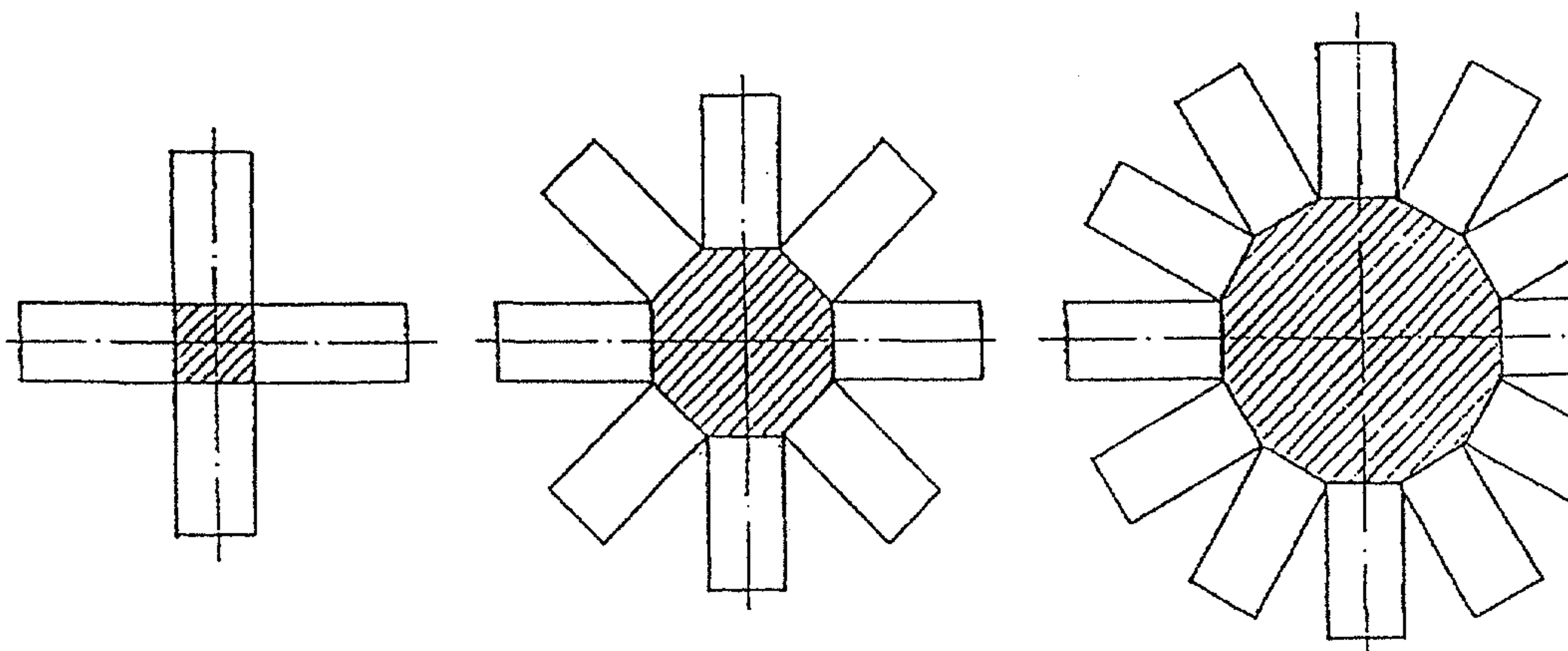


FIG.2

2/3

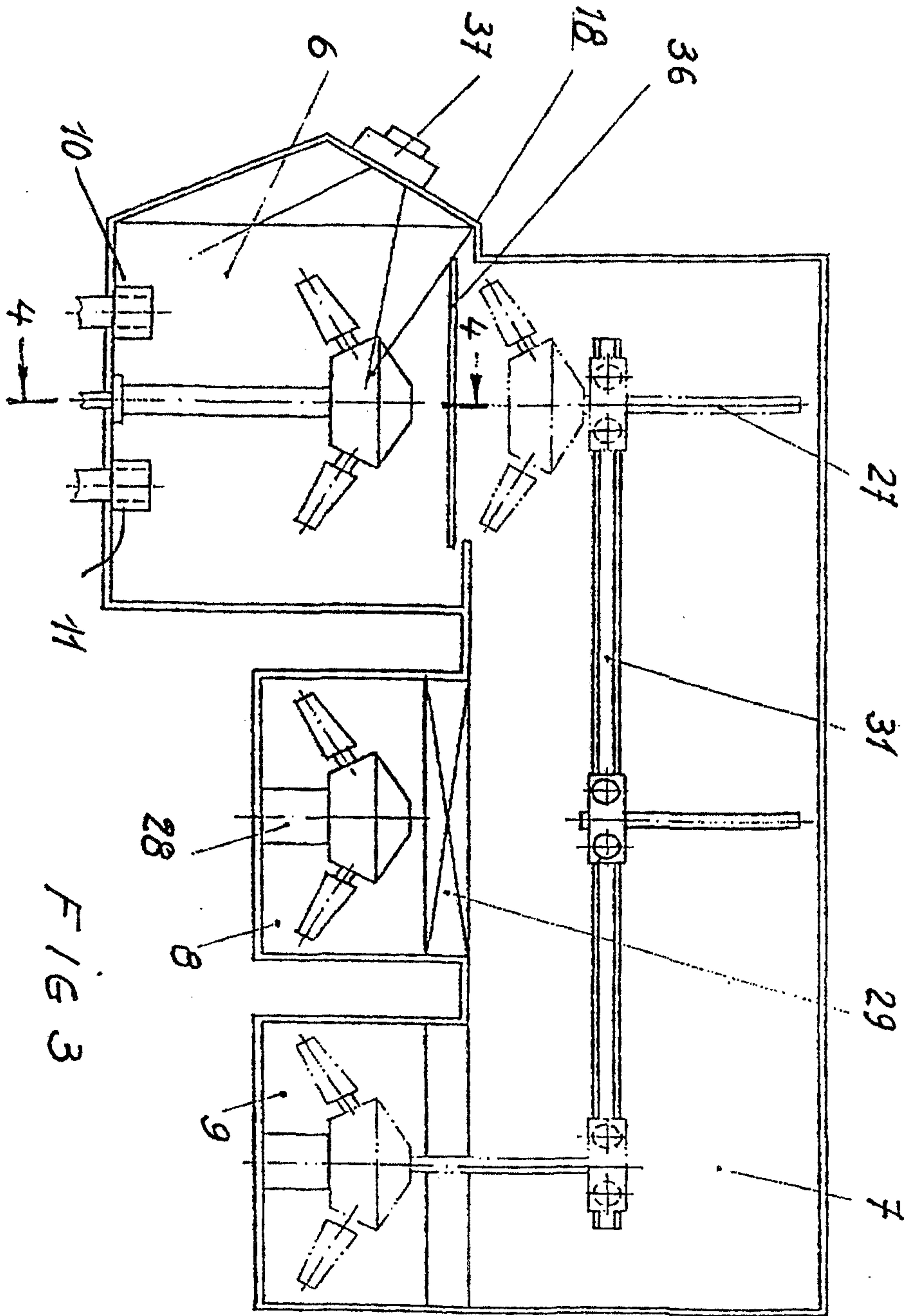


FIG 3

3/3

