



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

Numéro de publication:

**0 167 461
A1**

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

Numéro de dépôt: 85420101.9

Int. Cl.⁴: C 25 C 3/16

Date de dépôt: 28.05.85

Priorité: 29.05.84 FR 8408816

Date de publication de la demande:
08.01.86 Bulletin 86/2

Etats contractants désignés:
AT CH DE FR GB IT LI NL SE

Demandeur: ALUMINIUM PECHINEY
23, rue Balzac
F-75008 Paris(FR)

Inventeur: Langon, Bernard
L'Echailon
F-73300 Saint-Jean-de-Maurienne(FR)

Mandataire: Pascaud, Claude et al,
PECHINEY 28, rue de Bonne!
F-69433 Lyon Cedex 3(FR)

54 Anode carbonée à rondins partiellement rétrécis destinée aux cuves pour la production d'aluminium par électrolyse.

57 L'invention concerne une anode carbonée (1) destinée aux cuves pour la production d'aluminium par électrolyse ignée, selon le procédé Hall-Héroult dont la connexion à l'arrivée de courant positive, est effectuée par au moins un conducteur d'acier, comportant une partie inférieure (3) qui pénètre dans l'anode carbonée et une partie supérieure, (5) reliée à l'arrivée de courant positive, La partie supérieure (5) du conducteur d'acier a sur au moins 30% de la longueur de la partie supérieure une section transversale au plus égale à 60 % de la section transversale de la partie inférieure.

La partie supérieure peut être constituée par un profilé plein, de section réduite, ou un profilé tubulaire.

L'invention s'applique aux anodes précuites et aux anodes Söderberg. Elle procure un gain sensible sur la chute de tension dans le système anodique.

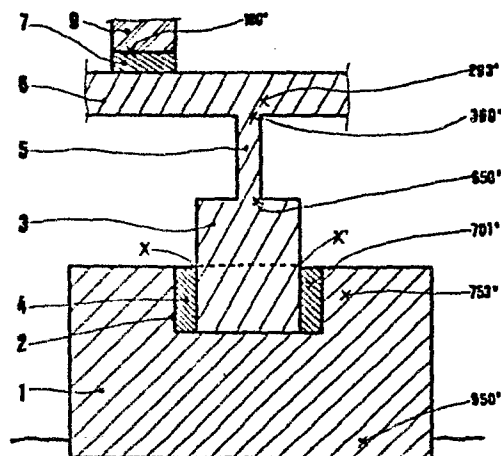


FIG.1

EP U 167 461 A1

ANODE CARBONÉE A RONDINS PARTIELLEMENT RETRECIS DESTINÉE
AUX CUVES POUR LA PRODUCTION D'ALUMINIUM PAR ELECTROLYSE

La présente invention concerne une anode carbonée à rondins partielle-
5 ment rétrécis, destinée aux cuves pour la production d'aluminium par é-
lectrolyse.

Elle a pour but essentiel de permettre une réduction des chutes ohmiques
à la connexion du carbone anodique, tout en réduisant les pertes ther-
10 miques à travers le système anodique de ces cuves et en augmentant la
durée de vie des raccords aluminium-acier. Elle est particulièrement
adaptée aux cuves d'électrolyse à anodes précuites, mais peut être uti-
lisée pour les cuves d'électrolyse à anodes continues dites Söderberg.

15 L'aluminium est essentiellement produit par électrolyse d'alumine dissou-
te dans un bain cryolithaire. Le four d'électrolyse qui permet cette opé-
ration est constitué par une cathode en carbone placée dans un caisson
en acier et calorifugée par des produits isolants réfractaires surmontée
par une anode ou une pluralité d'anodes en carbone plongeant dans le
20 bain cryolithaire qui est oxydée progressivement par l'oxygène provenant
de la décomposition de l'alumine.

Le passage du courant s'effectue de haut en bas. Par effet Joule, la cryo-
lithe est maintenue à l'état liquide, à une température proche de sa tem-
25 pérature de solidification. Les températures usuelles de marche des cuves
sont comprises entre 930 et 980°C. L'aluminium produit est donc liquide
et il se dépose par gravité sur la cathode qui est étanche. Régulièrement
l'aluminium produit, ou une partie de l'aluminium produit, est aspiré par
une poche de coulée et transvasé dans des fours de fonderie et les anodes
30 usées sont remplacées par des anodes neuves.

Les intensités de marche de ces électrolyseurs sont aujourd'hui comprises
entre 100 000 et 300 000 Ampères. Les conducteurs de liaison et de dis-
tribution du courant sont donc choisis parmi les métaux industriels à
35 haute conductivité électrique, c'est-à-dire le cuivre et l'aluminium purs
ou alliés.

EXPOSE DU PROBLEME

Les parties carbonées des électrolyseurs sont à des températures proches des températures du bain cryolithaire. La connexion de l'anode et de la cathode avec les conducteurs transportant le courant est donc nécessairement effectuée, à l'aide d'une partie intermédiaire résistant à ces températures élevées. Celle-ci est habituellement en acier. Le montage utilisé comporte plusieurs éléments :

10 a) un élément de connexion entre le conducteur et l'acier. Ce peut être un simple contact pressé, un contact amélioré par des moyens divers (graisses conductrices, meulages, étamages, serrages, etc ...) un composé bi- ou trimétal plaqué par colaminage, explosion, pressage, friction, tel que Cuivre-Fer, Aluminium-Fer, Aluminium-Titane-Fer, etc ...

15 b) une partie conductrice en acier pénétrant dans le carbone. Celle-ci peut être conçue sous forme de rondins, de plaques, de barres à section carrée, rectangulaire ou profilée.

20 c) un élément de connexion entre la partie acier et le carbone anodique ou cathodique. Cet élément peut être un scellement à la fonte, au carbone à la pâte carbonée ou à sec.

La partie en acier et les éléments de connexion sont à température décroissante en allant du carbone vers le conducteur en cuivre ou en aluminium. Ils sont donc le support d'un flux thermique considérable représentant une perte énergétique importante dans le processus d'électrolyse.

Il est très malaisé de réduire ces pertes thermiques par les procédés classiques de calorifugeage. En effet, un calorifugeage de la partie en acier conduit à une élévation excessive de sa température qui amènera une dégradation irréversible de la connexion entre le conducteur et l'acier, ou même une dégradation du conducteur en aluminium ou en cuivre. Il existe un risque que la dégradation de ces éléments amène une rupture de continuité électrique et donc un arrêt partiel ou total de l'électrolyse.

On peut aussi penser, pour réduire ce flux thermique par conduction, à

diminuer la section de ce tronçon de conducteur en acier. L'homme de l'art se heurte ici à trois obstacles :

5 - par réduction de la section de l'acier, on augmente la chute ohmique dans l'acier, ce qui compromet l'objectif de réduction des consommations énergétiques de l'électrolyseur.

10 - en réduisant la section de l'acier, on augmente sa température et corrélativement, les pertes thermiques par convection et rayonnement de l'acier dans la partie à l'air libre. Le gain escompté sur le transfert thermique par conduction pure est alors fortement atténué. De plus, la connexion entre acier et conducteur en aluminium ou cuivre, fragile à haute température, se dégrade.

15 - par réduction de la section de l'acier, la connexion entre acier et carbone est moins performante et la perte énergétique par chute ohmique de contact à cet endroit réduit de nouveau les gains escomptés.

20 En conséquence, l'opération se traduit généralement par une dégradation de la connexion entre acier et aluminium ou cuivre sans gain notable sur les consommations énergétiques.

On ne peut donc pas, pour résoudre ce problème, se borner à transposer les solutions proposées dans les brevets FR 2 088 263 (Alusuisse) et
25 FR 1 125 949 (PECHINEY) dans le cas des barres cathodiques, car ces dernières sont, pour leur plus grande partie, noyées dans les blocs cathodiques et les garnissages latéraux, alors que les rondins d'anodes sont exposés à l'air libre sur presque toute leur longueur, exceptée la partie scellée dans l'anode et immédiatement au-dessus de l'anode. Les conditions
30 d'équilibre thermique sont donc très différentes.

L'élément de connexion électrique acier-carbone, fonctionnant à des températures supérieures à 700°, introduit dans le passage du courant une résistance parasite très grande constituée d'une résistance de contact
35 et d'une résistance locale dans le carbone de l'anode où le passage du courant est très concentré autour du scellement. Mesurée dans les conditions actuelles de connexion, elle atteint 30 à 50 % de la résistance totale de l'anode. De nombreux procédés ont été utilisés pour faire bais-

ser cette résistance de contact. Une méthode efficace consiste à augmenter la surface de contact en augmentant le nombre ou la dimension des logements prévus dans l'anode pour y placer les conducteurs en acier. Elle se heurte malheureusement à une conséquence fâcheuse : en augmentant le nombre et la dimension des conducteurs acier, le flux thermique conductif traversant ces éléments, augmente proportionnellement aux sections. L'équilibre thermique de la cuve d'électrolyse est alors perturbé et une compensation énergétique est nécessaire. Le bilan global est défavorable, l'augmentation des pertes thermiques étant supérieure au gain de résistance obtenu sur la connection anodique.

OBJET DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de permettre la réduction des résistances de contact à la connexion des anodes carbonées des cuves d'électrolyse de l'aluminium, sans pour autant augmenter les pertes thermiques de la cuve d'électrolyse au travers des conducteurs d'acier pénétrant dans l'anode carbonée.

De façon plus précise, l'objet de l'invention est une anode carbonée, destinée aux cuves pour la production d'aluminium par électrolyse ignée, selon le procédé Hall-Héroult, dont la connexion à l'arrivée de courant positive est effectuée par au moins un conducteur d'acier comportant une partie inférieure qui pénètre dans l'anode carbonée et une partie supérieure reliée à l'arrivée de courant positive, caractérisée en ce que la partie supérieure du conducteur acier a, sur au moins 30 % de la longueur de sa partie supérieure, une section transversale au plus égale à 60 % de la section transversale de la partie inférieure.

Selon le type d'anode considéré -précuite ou Söderberg- le conducteur d'acier est un rondin scellé, par un procédé connu tel que la coulée de fonte, dans un évidement ménagé à la partie supérieure de l'anode précuite ou un goujon, dont l'extrémité inférieure est effilée, et qui est introduit à force dans la pâte carbonée Söderberg.

35

Les figures 1 à 6 illustrent la mise en oeuvre de l'invention. Ce sont des représentations en coupe verticale.

La figure 1 montre la répartition de la température sur un rondin d'anode partiellement rétréci, selon l'invention.

La figure 2 montre la répartition de la température sur un rondin d'anode selon l'art antérieur, à titre de comparaison.

5 Les figures 3 à 5 représentent, à titre d'exemple non limitatif, différents modes de mise en oeuvre de l'invention sur des anodes dites pré-cuites.

La figure 6 représente, à titre d'exemple non limitatif, deux modes de mise en oeuvre de l'insertion sur des anodes continues dites Söderberg.

10

Sur la figure 1, l'anode précuite (1) comporte, de façon classique, une cavité (2) dans laquelle le rondin (3) est scellé, le plus souvent par coulée de fonte (4). La section du rondin (3) a été localement réduite (5). On sait que, sur les cuves à anodes précuites (3), la moitié environ du flux thermique traversant les anodes est évacué par l'acier. Le mode de transport de la chaleur est essentiellement la conduction simple. La ligne pointillée XX' représente la limite entre la partie inférieure du conducteur, scellée dans le carbone, et la partie supérieure.

15

20 Dans le cas de la figure 1 qui se rapporte à l'invention, on a constaté que la réduction partielle de la section de l'acier dans la partie supérieure permettait d'obtenir localement de forts gradients de température. Cela permet de situer de façon précise les zones chaudes et les zones froides dans l'acier. Dans l'expérience représentée sur la fig. 1, on obtient sur 10 cm de longueur une chute de température de 650°C à 320°C.

25

La figure 2 montre comment, selon l'art antérieur et dans des conditions identiques, les températures s'établissent dans le système anodique lorsque le rondin (8) a une section constante.

30

On a également constaté que la densité de courant pouvait localement être augmentée sans que l'effet de fusible bien connu de l'homme de l'art ne se manifeste. En effet, la proximité d'une masse importante d'acier à température relativement basse absorbe rapidement les calories dégagées par effet Joule si l'intensité augmente exagérément dans le rondin (3).

35

Il apparaît ainsi sur la figure 1 que l'augmentation de température de

l'acier, source de pertes thermiques par convection et rayonnement, est localisée juste au-dessus de l'anode. Il suffira donc de calorifuger cette zone, au moyen des isolants thermiques classiques tels que l'alumine, ou le bain d'électrolyse broyé, ou les granulés de pâte carbonée, pour supprimer la plus grande partie des pertes thermiques qui s'y produisent, tandis que les parties médiane et supérieure du rondin et ses raccords (6, 7) sur les conducteurs (9), peuvent sans inconvénient être laissées à l'air libre en raison de leur température modérée, de l'ordre de 300°C ou inférieure.

10

L'augmentation de chute ohmique dans la partie rétrécie (5) peut être compensée, et même au-delà, par une augmentation de section de la partie chaude de l'acier où la résistivité électrique est forte; le coefficient de température de la résistivité électrique du fer est, en effet, de 0,0147 à 500°C, ce qui est une valeur exceptionnellement élevée parmi les métaux et il est maximum aux environs de 500°C.

15

En outre, le contact entre l'acier et le carbone se trouve amélioré par l'augmentation de section de la partie inférieure (3) en acier plongeant dans le carbone et par l'augmentation de température de cette zone et du fait de la dilatation thermique supplémentaire de la partie métallique, qui concourt également à améliorer ce contact. Le gain de résistance de contact ainsi obtenu est de près de 30 % par rapport au montage selon l'art antérieur (fig. 2).

20

Le choix des dimensions des parties rétrécies et non rétrécies du rondin n'est pas quelconque. Les sections et longueurs de ces deux parties devront être telles que la résistance thermique totale obtenue soit égale ou de préférence un peu supérieure à celle du montage selon l'art antérieur, le calcul pouvant être aisément fait par l'homme de l'art. Ceci implique que la longueur de la partie rétrécie (5) soit d'autant plus grande que sa section est proche de celle du rondin d'origine. Ceci implique aussi une relation entre la longueur de la partie (5), la section de la partie (5) et la section de la partie (3).

25

On a trouvé que l'invention était particulièrement efficace si le rapport entre la section de la zone (5) et la section de la zone (3) était

égal ou inférieur à 0,6. La longueur de la partie réduite devrait être au moins égale à 35 % de la longueur totale de la partie supérieure du rondin.

- 5 Cela permet d'équilibrer la résistance thermique totale sans atteindre l'effet de fusible, tout en obtenant un gain sur la résistance de contact dans tous les cas supérieur à 30 % de sa valeur initiale.

MISE EN OEUVRE DE L'INVENTION

10

A partir du principe de base ainsi défini, plusieurs modes de réalisation sont possibles.

15 Sur la figure 3, l'anode (1) comporte 4 orifices de scellement (2). Chaque rondin comporte une partie inférieure (10) de 200 mm de haut et de 150 mm de diamètre, scellée à la fonte (4) dans l'anode, la partie supérieure (11), sur une hauteur de 170 mm, a sa section transversale réduite à 36 % de la section de la partie inférieure (90 mm de diamètre).

20 Les quatre rondins (11) sont reliés par une traverse rectangulaire (12) de large section (150 x 80 mm) qui est elle-même reliée par un clad aluminium-fer (13) à la tige (14), en aluminium qui assure la liaison électrique avec le cadre anodique (anodic bus bar) non représenté.

25 Le calorifugeage de la zone chaude est assuré par une couverture d'alumine ou de bain broyé, jusqu'au niveau approximatif indiqué par la ligne pointillée AA' (2 à 3 centimètres au-dessus du raccordement avec la partie rétrécie du rondin).

30 L'utilisation de ce montage dans une cuve prototype à 280 000 ampères a permis de constater que le recouvrement du rondin à grande section de quelques centimètres d'alumine suffisait pour calorifuger très fortement les anodes. Les densités de courant utilisées étaient dans ce cas :

35 - traverse (12) (- zone froide) : 15 A/cm²
- rondin (- zone rétrécie (11) : 28 A/cm²
(- zone chaude (10) : 10 A/cm².

En faisant fonctionner cette cuve de 280 000 A dont les rondins d'anodes étaient selon l'art antérieur de diamètre constant=120 mm, avec des anodes équipées selon l'invention, il apparaît un gain de 30 mV sur la chute anodique. Celui-ci se traduit par une baisse des consommations éner-
5 gétiques de la cuve de 100 Kwh/T, la tension de marche de l'électrolyseur ayant pu être baissée de 0,03 volts, sans modification de l'intensité. En effet, dans ce cas, la résistance thermique totale du rondin et de son rétréci est supérieure de 50 % à la résistance thermique du rondin de diamètre 120. Cela permet un calorifugeage supplémentaire de la cuve per-
10 mettant de baisser la puissance injectée à la cuve.

Dans un autre mode de mise en oeuvre de l'invention (figure 4), on a constitué la partie rétrécie (11) du rondin par un tube (15), qui présente,
15 à densité de courant égale, l'avantage d'une meilleure dissipation de chaleur par rayonnement en cas de surcharge excessive. Il peut avoir, par exemple, 150 mm de diamètre externe et 120 mm de diamètre interne, sur 150 mm de haut. Un tel assemblage peut être obtenu par soudure élec- trique de ces composants, mais aussi par moulage, du fait que le grand nombre d'éléments nécessaires sur une série de une ou plusieurs centaines
20 de cuves d'électrolyse, comportant chacune plusieurs dizaines d'anodes, permet d'amortir aisément le coût des moules.

Une autre possibilité consiste à scier la partie supérieure du rondin (fig. 5) de façon à la réduire à une plaque rectangulaire (16) dont la
25 section transversale ne représente plus, par exemple, que 40 % de la section transversale initiale.

Enfin, dans le cas des anodes Söderberg (fig. 6), l'introduction du cou- rant est effectuée par des ronds d'aciers appelés "goujons" (17) qui sont
30 plantés directement dans la pâte carbonée (18), et que l'on arrache puis replante un peu plus haut, à mesure que l'anode s'use par combustion, de façon à éviter que la pointe inférieure du goujon n'entre en contact avec l'électrolyte. On peut, de la même façon que dans le cas des rondins d'anodes précuites, diminuer le diamètre de la partie supérieure du goujon
35 (qui est souvent de l'ordre de 100 à 150 mm), en-dessous de la zone de contact du goujon dans le cadre anodique et augmenter celui de la partie inférieure. Le calorifugeage de la partie supérieure de l'anode est,

dans ce cas, assuré par les granulés de pâte carbonée (19) que l'on ajoute périodiquement pour reconstituer l'anode au fur et à mesure qu'elle s'use par la partie inférieure. Pour permettre une extraction aisée du goujon de la pâte, le montage utilisant un tube de même diamètre extérieur que la partie inférieure est préférable.

La mise en oeuvre de l'invention permet d'obtenir un gain de l'ordre de 200 à 300 kWh/T d'aluminium, et une augmentation considérable de la durée de vie des clads alu-acier qui devient au moins égale à celle des éléments en aciers eux-mêmes.

REVENDICATIONS

1. Anode carbonée destinée aux cuves pour la production d'aluminium par électrolyse ignée, selon le procédé Hall-Héroult, dont la connexion à
5 l'arrivée de courant positive, est effectuée par au moins un conducteur d'acier, comportant une partie inférieure qui pénètre dans l'anode carbonée et une partie supérieure, reliée à l'arrivée de courant positive, caractérisée en ce que la partie supérieure du conducteur d'acier a sur
10 au moins 30 % de la longueur de la partie supérieure une section transversale au plus égale à 60 % de la section transversale de la partie inférieure.

2. Anode carbonée, selon la revendication 1, caractérisée en ce que le conducteur d'acier est un rondin scellé, par un procédé connu tel que la
15 coulée de fonte, dans une cavité (2) ménagée à la partie supérieure de ladite anode, préalablement cuite.

3. Anode carbonée, selon revendication 1, caractérisée en ce que le conducteur d'acier est un goujon, dont l'extrémité inférieure est effilée et
20 qui est introduit à force dans la pâte carbonée Söderberg qui forme ladite anode.

4. Anode carbonée, selon l'une quelconque des revendications 1, 2 ou 3, caractérisée en ce que la partie supérieure du conducteur d'acier à section
25 transversale réduite est constituée par un profilé plein.

5. Anode carbonée, selon l'une quelconque des revendications 1, 2 ou 3, caractérisée en ce que la partie supérieure du conducteur d'acier à section
30 transversale est constituée par un profilé tubulaire.

6. Anode carbonée, selon la revendication 2, constituée par un bloc de pâte carbonée, préalablement cuit à une température élevée et munie à sa
partie supérieure, d'au moins une cavité de scellement (2) caractérisée
35 en ce que la partie inférieure du conducteur d'acier scellée à la fonte dans l'orifice du scellement, a une hauteur au moins égale à la profondeur de l'orifice de scellement.

7. Anode carbonée, selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisée en ce qu'elle est recouverte, jusqu'à un niveau au moins égal à celui du raccordement entre la partie inférieure et la partie supérieure; rétrécie, du conducteur d'acier, par une substance calorifuge telle
5 que l'alumine, le bain d'électrolyse cryolithaire solidifié et broyé, la pâte carbonée en granulés.

1-3

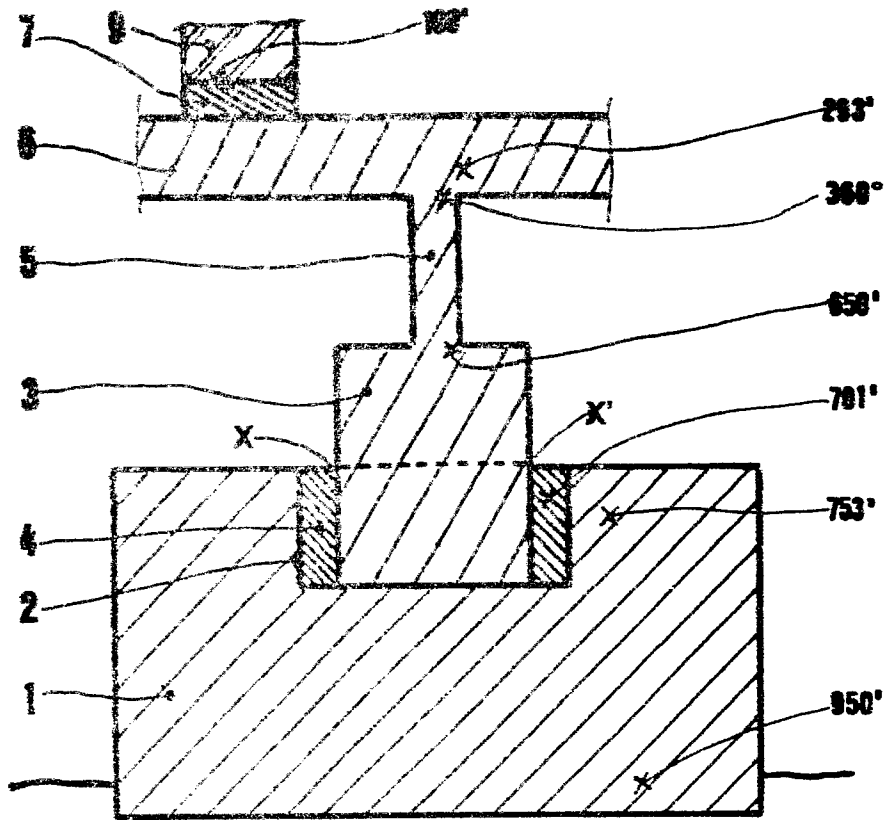


FIG. 1

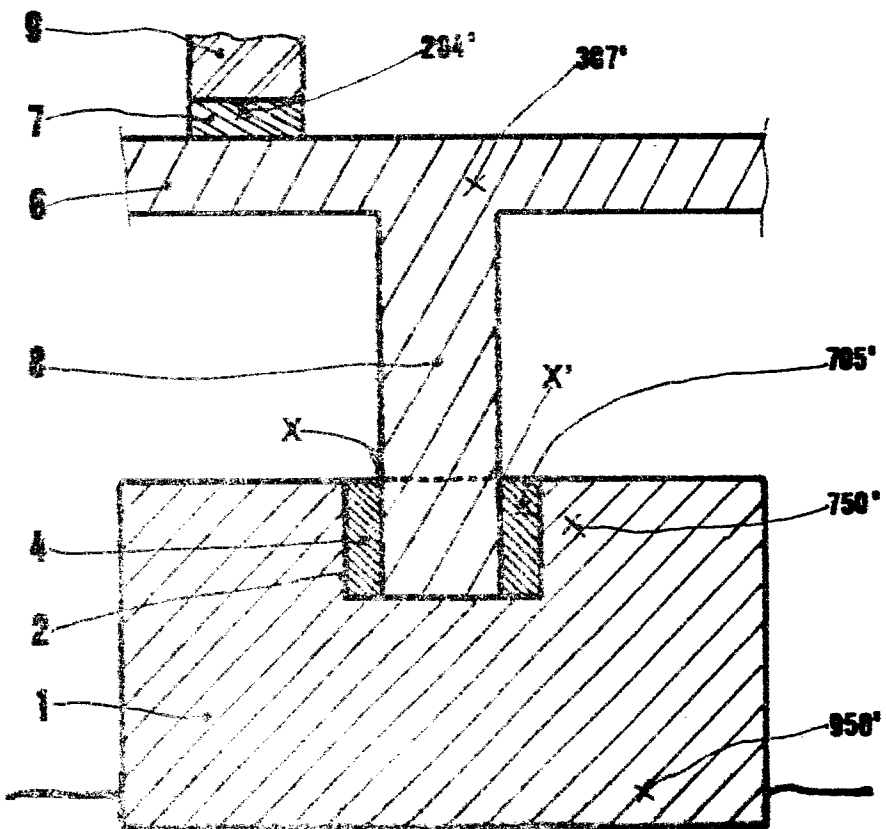


FIG. 2

FIG. 3

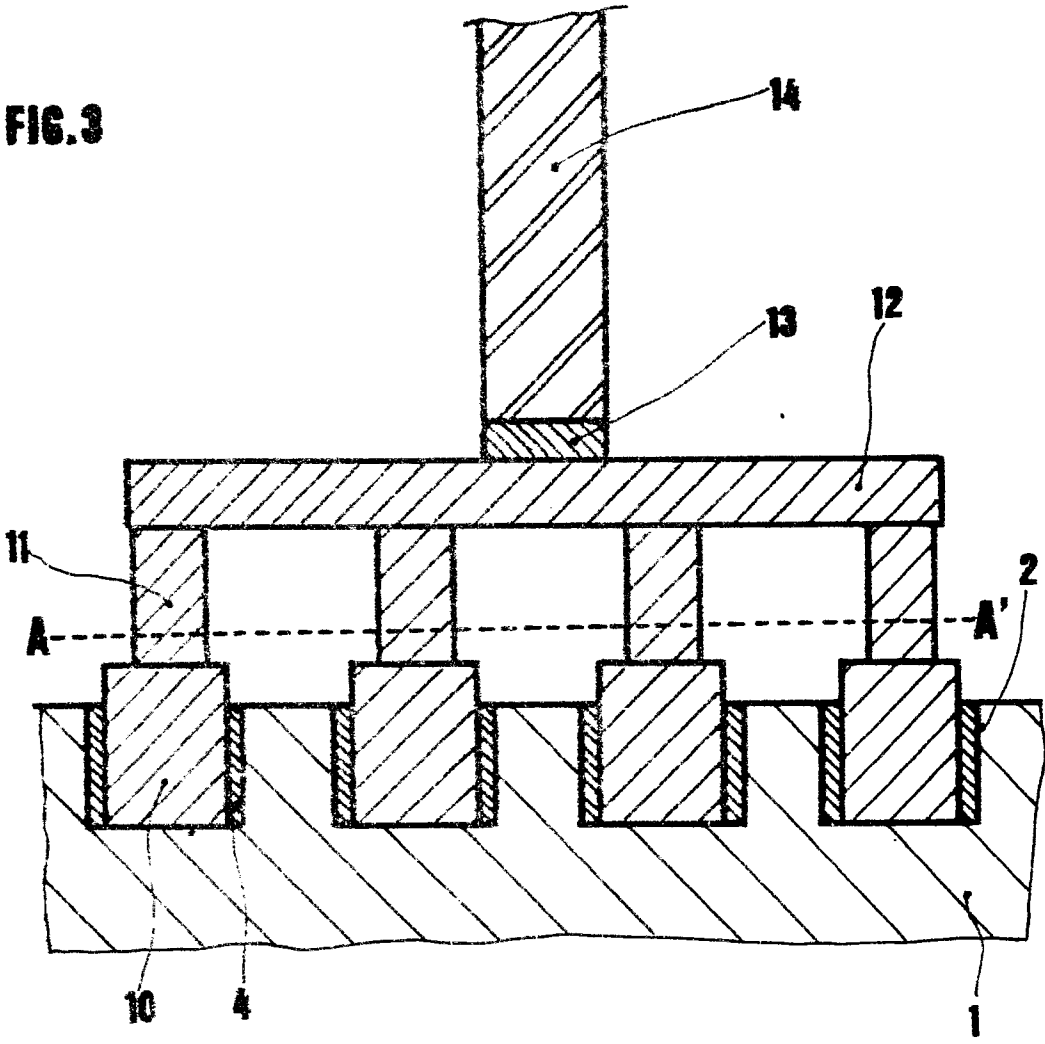
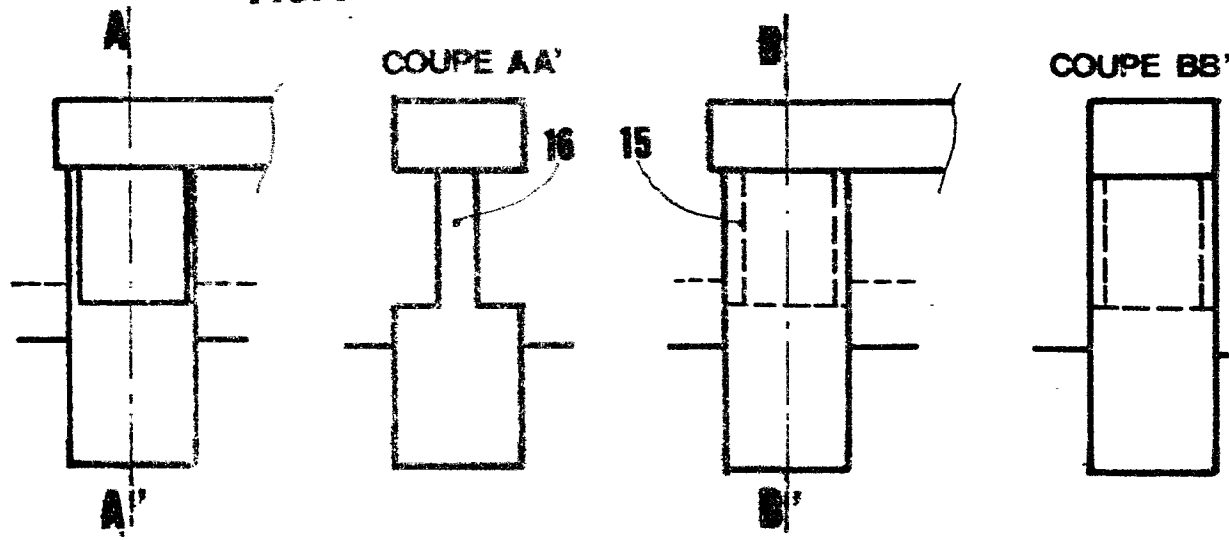


FIG. 4

FIG. 5



3-3

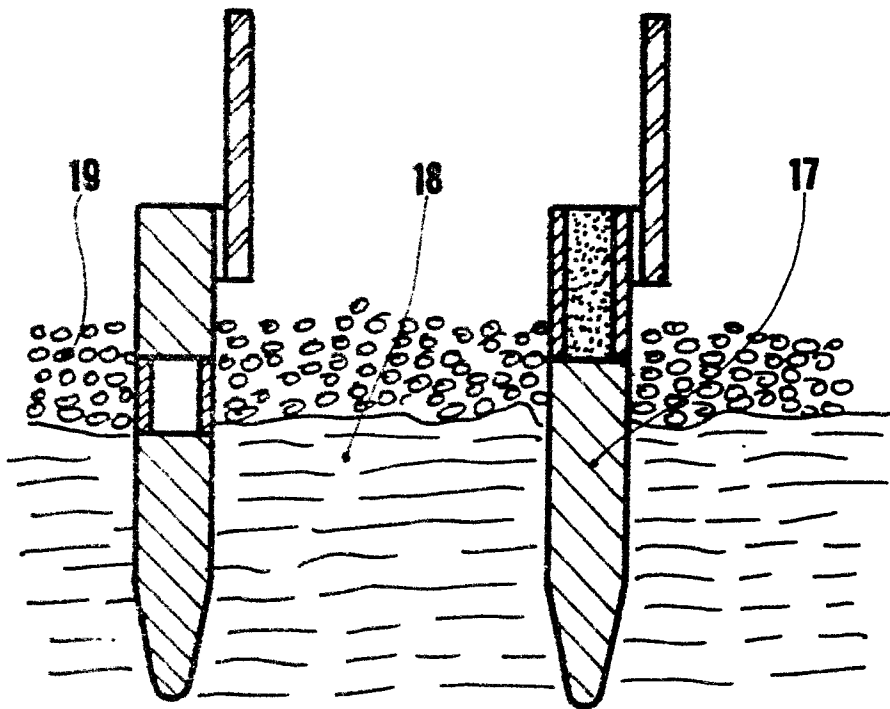


FIG. 8



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0167461

Numero de la demande

EP 85 42 0101

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Category	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
A	DE-C-1 002 131 (H. SCHMITT)		C 25 C 3/16
A	FR-A-1 536 838 (HUTA ALUMINIUM)		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
			C 25 C 3
			C 25 C 7
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 19-09-1985	Examineur GROSEILLER PH.A.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

OEET form 1503 03 R2