

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

②①

N° 81 08594

⑤④ Procédé de fabrication d'une électrode cylindrique pour la gravure électrochimique de circuits imprimés et électrode ainsi obtenue.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.³). B 23 P 1/00; H 05 K 3/06.

②② Date de dépôt..... 29 avril 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 44 du 5-11-1982.

⑦① Déposant : IOFFE Vladimir Fedorovich, FILATOV Oleg Vasilievich et SHAVYRIN Vadim Alexeevich, résidant en URSS.

⑦② Invention de : Vladimir Fedorovich Ioffe, Oleg Vasilievich Filatov et Vadim Alexeevich Shavyrin.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Z. Weinstein,
20, av. de Friedland, 75008 Paris.

La présente invention relève du domaine de l'usinage par électro-érosion de pièces ayant la forme de corps de révolution et a notamment pour objet un procédé de fabrication d'une électrode cylindrique pour
5 la gravure électrochimique des circuits imprimés et l'électrode cylindrique obtenue par ledit procédé.

La fabrication de l'électrode cylindrique pour la gravure des circuits imprimés est la partie la plus délicate et exigeant le plus de main-d'oeuvre du processus
10 technologique de production de circuits imprimés par la méthode électrochimique, qui consiste à copier la surface de travail profilée d'une électrode cylindrique tournante sur une ébauche de circuit imprimé constitué par une plaque diélectrique à revêtement conducteur, qui se
15 déplace par rapport à l'électrode. L'électrode cylindrique pour la gravure électrochimique des circuits imprimés est généralement réalisée sous forme d'un rouleau métallique comportant sur sa surface cylindrique des portions creuses ou cavités non-conductrices dont la forme
20 correspond à celle des conducteurs du circuit imprimé. De la précision d'exécution de ces cavités dépend la précision de fabrication du circuit imprimé, précision à laquelle l'électronique moderne impose des exigences très élevées.

On connaît un procédé de réalisation d'une électrode cylindrique pour la gravure électrochimique de circuits imprimés relativement simples, ce procédé étant basé sur l'emploi d'un pochoir plat (voir le brevet U.S.A. N° 323944, Cl. 204-143, publié en 1966). Selon ce procédé,
30 on réalise d'abord un pochoir et à cet effet on découpe dans une plaque métallique mince, par l'un des procédés connus, par exemple par attaque chimique à travers un masque, des trous débouchants dont la forme correspond à celle des conducteurs du circuit imprimé. Ensuite on
35. roule le pochoir plat ainsi préparé en lui donnant la forme d'un cylindre et on le fixe sur la surface d'un support cylindrique plein. De cette manière, on obtient

une électrode cylindrique avec des cavités formées par les trous du pochoir, dont la profondeur est limitée par la surface du support, c'est-à-dire qu'elle est déterminée par l'épaisseur du pochoir.

5 Cependant, un tel procédé exige beaucoup de main-d'oeuvre du fait qu'il est difficile de découper un pochoir dans une plaque métallique mince et encore plus difficile de placer exactement, sur la surface cylindrique du support, un pochoir plat mince avec une pluralité de
10 trous de configuration différente. Ces opérations se font généralement à la main, car il est difficile de les automatiser.

 Par ailleurs, la précision de fabrication d'une électrode cylindrique par ce procédé est relativement basse
15 et ne satisfait pas aux exigences de la technique moderne.

 Les désavantages précités limitent les possibilités d'utilisation d'un tel procédé. En pratique, il ne peut être appliqué qu'en laboratoire pour des électrodes relativement simples et ne convient absolument pas pour
20 la production industrielle en masse.

 On connaît également un procédé de fabrication d'une électrode cylindrique pour la gavage électrochimique de circuits imprimés, qui consiste à former dans une ébauche cylindrique, par la technique d'électro-érosion,
25 des cavités dont la forme correspond à celle des conducteurs du circuit imprimé. Ce procédé est basé sur une méthode largement utilisés pour l'usinage par électro-érosion de corps de révolution, celle de roulage avec une ébauche cylindrique animée d'un mouvement de rotation et
30 une électrode-outil plate à laquelle est imprimé un mouvement de translation suivant une tangente à la surface à usiner de l'ébauche (voir le manuel préparé par B.A. Artamonov, A.L. Vichnitsky. Iou. S. Volkov, A.V. Glazkov, sous la rédaction de A.V. Glazkov, "Usinage électrique à
35. la cote (dimensionnel) des métaux", Moscou, Editions "Ecole Supérieure", 1978, pp. 120-123). L'électrode-outil plate constitue dans ce cas un modèle de circuit imprimé,

formé par des saillies fixées sur une embase commune, la forme de ces saillies correspondant à celle des conducteurs du circuit imprimé. Une telle électrode-outil peut, par exemple, être réalisée par fraisage mécanique, attaque chimique à travers un masque ou découpage par électro-érosion avec une électrode en fil, de saillies individuelles dont chacune correspond à l'un des conducteurs du circuit imprimé, avec orientation mutuelle subséquente de ces saillies et leur fixation sur ladite embase commune de forme plate.

Toutefois, ce procédé connu, lui aussi, est difficilement réalisable et exige beaucoup de main-d'oeuvre, ce qui est dû principalement à la nécessité de fabriquer une pièce intermédiaire (l'électrode-outil plate).

Il est en outre impossible d'assurer par ce procédé une haute précision de l'électrode cylindrique fabriquée, car les erreurs inévitables de la méthode de roulage sont aggravées par des inexactitudes de fabrication de l'électrode-outil plate.

Pour la mise en oeuvre d'un tel procédé, il est nécessaire d'avoir au moins deux machines-outils distinctes: l'une pour la confection de l'électrode-outil plate et l'autre pour la fabrication de l'électrode cylindrique elle-même. L'exploitation de plusieurs unités de différents équipements accroît naturellement le prix de revient des électrodes cylindriques produites. Tout ceci limite les possibilités d'utilisation du procédé connu qui vient d'être décrit et freine dans une grande mesure la mise à profit des techniques électro-chimiques avancées pour la production des circuits imprimés.

La présente invention vise donc un procédé de fabrication d'une électrode cylindrique pour la gravure électrochimique de circuits imprimés, dans lequel le découpage par électro-érosion de cavités dans une ébauche cylindrique serait réalisé de façon à réduire la main-d'oeuvre nécessaire et à assurer une haute précision de l'électrode cylindrique fabriquée.

- A cette fin, dans le procédé de fabrication d'une électrode cylindrique pour la gravure électrochimique de circuits imprimés, du type comprenant la formation par électro-érosion, dans une ébauche cylindrique, de parties creuses ou cavités dont la forme correspond à celle des conducteurs du circuit imprimé, selon l'invention on effectue la formation de chaque cavité par électro-érosion dans une ébauche réalisée sous forme d'un cylindre creux dans lequel on découpe, au moyen d'une électrode en fil, un trou débouchant à contour fermé, dont la forme correspond à celle d'un conducteur du circuit imprimé, après quoi on déplace la portion découpée de l'ébauche vers l'axe central de celle-ci jusqu'à ce que cette portion découpée se coince dans le trou, et on la fixe en position.
- De cette façon, la fabrication de l'électrode cylindrique s'effectue sans avoir recours à des pièces intermédiaires ou auxiliaires quelconques, par découpage direct par électro-érosion, au moyen d'une électrode en fil, dans une ébauche cylindrique creuse, ce qui réduit considérablement la main-d'oeuvre à employer. Toute l'opération d'usinage se fait sur une seule machine de découpage de contours par électro-érosion sans nécessiter un équipement supplémentaire. La précision de l'électrode cylindrique fabriquée dépend uniquement de l'opération de découpage du contour par l'électrode en fil, qui, comme on le sait, assure une précision très élevée. Ce processus technologique étant très simple, on peut aisément l'automatiser. Dans ce cas, il y a intérêt à utiliser une machine-outil d'usinage par électro-érosion à commande programmée.
- Pour fabriquer une électrode cylindrique destinée à la gravure électrochimique des circuits imprimés, selon l'invention, on choisit une ébauche réalisée sous forme d'un cylindre creux dont la longueur et le diamètre extérieur sont respectivement égaux à la longueur et au diamètre extérieur requis de l'électrode cylindrique à fabriquer. Comme à l'ordinaire, on détermine lesdites cotes d'encombrement de l'électrode cylindrique de façon à

pouvoir disposer sur sa surface cylindrique toute la topologie d'au moins un circuit imprimé, celui pour lequel est prévue cette électrode.

- Le diamètre intérieur de l'ébauche est déterminé
- 5 compte tenu des dimensions et de la disposition des conducteurs du circuit imprimé et, par conséquent, des dimensions et de la disposition des cavités à former, en prenant également en considération les particularités du procédé considéré. La condition essentielle pour déterminer
- 10 correctement le diamètre intérieur de l'ébauche est la nécessité de découper dans l'ébauche, à l'aide de l'électrode en fil, des orifices correspondant aux conducteurs du circuit imprimé de telle manière que les portions découpées de l'ébauche, après leur déplacement
- 15 vers son axe central d'une distance correspondant à la profondeur requise des cavités à former, se fixent dans les orifices par effet de coincement.

- En cas de disposition radiale de l'électrode en fil par rapport à l'ébauche au cours du découpage des trous
- 20 par électro-érosion, le diamètre intérieur de l'ébauche et les paramètres d'usinage par électro-érosion sont déterminés en appliquant les relations suivantes :

25
$$D - d > \frac{2 \Delta}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

à condition que
$$\Delta \gg h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

- où D est le diamètre extérieur de l'ébauche;
- 30 d est le diamètre intérieur de l'ébauche;
- h est la profondeur requise de la cavité à former;
- α est l'angle du secteur formé par les rayons tracés à travers les points extrêmes de la position de l'électrode en fil pendant le découpage par
35. électro-érosion d'un orifice dans l'ébauche;
- Δ est la largeur de la coupe par l'électrode en fil, définie par la somme :

$$\Delta = d_g + 2x$$

où d_g est le diamètre de l'électrode en fil;

x est la largeur de l'intervalle d'électro-érosion.

Dans une ébauche cylindrique dont les dimensions
5 sont déterminées comme indiqué ci-dessus, on réalise
d'abord des trous technologiques aux endroits de disposition des cavités à former. Ensuite on introduit tour à tour dans ces trous une électrode en fil et on l'oriente suivant le rayon de l'ébauche. Ceci fait, on découpe par
10 électro-érosion, suivant le contour, des orifices débouchants à contour fermé, dont la forme correspond à celle des conducteurs du circuit imprimé. Après découpage de chaque orifice, on retire l'électrode en fil et on déplace la portion découpée de l'ébauche à l'intérieur de
15 l'orifice vers l'axe central de l'ébauche jusqu'à ce qu'elle se trouve bloquée ou coincée dans l'orifice, après quoi on la fixe en position, par exemple par soudage.

Après découpage de tous les orifices, déplacement et fixation de toutes les portions découpées de l'ébauche,
20 on obtient une électrode cylindrique finie avec des cavités dont la forme correspond à celle des conducteurs du circuit imprimé.

Dans le cas où, lors du découpage d'un orifice, on constate que $\alpha > 180^\circ$, il convient de diviser encore
25 la portion découpée en parties, de telle manière que chacune d'elles corresponde à un secteur d'angle $\alpha' < 180^\circ$.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails et avantages de celle-ci apparaîtront mieux à la lumière de la description explicative qui va suivre d'un
30 mode de réalisation donné uniquement à titre d'exemple non limitatif, avec références aux dessins non limitatifs annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente le schéma du processus technologique de découpage d'orifices dans une ébauche
35. cylindrique creuse;

- la figure 2 est une vue en coupe de l'ébauche, avec une portion découpée déplacée, formant une cavité; et

- la figure 3 est une vue en coupe de l'ébauche, avec une portion découpée déplacée, qui occupe un secteur de 180°.

EXEMPLE :

- 5 On considère, à titre d'exemple de réalisation concret mais non limitatif, la fabrication d'une électrode cylindrique de diamètre extérieur $D = 100$ mm, avec une profondeur minimale des creux $h = 0,4$ mm.

- 10 Tout d'abord, on calcule la largeur Δ de la coupe par électro-érosion nécessaire. Pour découper un orifice à angle de secteur $\alpha = 90^\circ$, on obtient $\Delta = h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 0,4 \cdot 1 = 0,4$ mm.

- 15 On détermine ensuite le diamètre intérieur nécessaire de l'ébauche en introduisant les données disponibles dans la relation citée plus haut :

$$100 - d > \frac{2 \cdot 0,4}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

- 20 d'où l'on obtient $\alpha = 90$ mm

Suivant les calculs, pour fabriquer une électrode cylindrique, on utilise une ébauche 1 (figure 1) réalisée sous forme d'un cylindre creux de diamètre extérieur $D = 100$ mm et de diamètre intérieur $d = 85$ mm.

- 25 Pour découper le premier orifice 2 (figure 1), on perce dans l'ébauche 1 un trou technologique 3 que l'on choisit de plus petit diamètre possible, mais qui assure l'introduction libre et commode de l'électrode en fil 4. Si, aux régimes de découpage par électro-érosion adoptés, l'intervalle d'électro-érosion a une largeur $x = 0,1$ mm, on choisit pour l'électrode en fil un diamètre $d_e = \Delta - 2x = 0,4 - 0,2 = 0,2$ mm, et on perce un trou technologique 3 par exemple de 0,3 mm de diamètre.
- 30

- 35 On introduit dans le trou technologique 3 l'électrode en fil 4 que l'on fait passer dans des rouleaux de guidage 5 et 6 disposés dans l'étrier 7 d'une machine à usiner par électro-érosion. Puis on ajuste

l'électrode en fil 4 en l'orientant suivant le rayon de l'ébauche 1. Ceci fait, on découpe dans l'ébauche 1, par électro-érosion, un orifice débouchant 2 à contour fermé, dont la forme correspond à celle d'un conducteur du circuit imprimé. L'angle α lors du découpage de l'orifice 2 est de 90° (figure 2).

Le découpage de l'orifice 2 est exécuté en imprimant un mouvement de translation, le long de l'axe central de l'ébauche 1, à l'étrier 7 avec l'électrode en fil 4 et un mouvement de rotation à l'ébauche 1 de telle manière que l'électrode en fil 4 suive le contour de l'orifice 2 à découper.

L'opération de découpage terminée, on retire l'électrode en fil 4. Après le découpage, il reste à l'intérieur de l'orifice 2 découpé une portion 8 qui est séparée de l'ébauche par une fente de largeur $\Delta = 0,4 \text{ mm}$ (sur la figure 2, la position de départ de la portion 8 et l'une des positions extrêmes de l'électrode en fil 4 sont désignées en traits interrompus).

On déplace la portion 8 découpée de l'ébauche 1 vers l'axe central de celle-ci jusqu'à ce que cette portion vienne se poser, par ses faces latérales, sur les parois latérales de l'orifice 2. Là, la portion 8 se bloque dans l'orifice 2 par effet de coinçage.

On fixe ensuite la portion découpée 8 par soudage en position bloquée.

De cette manière, on obtient une cavité 9 dont la forme correspond à celle d'un conducteur du circuit imprimé et dont la profondeur minimale constitue $h = 0,4 \text{ mm}$.

Pour former la cavité 10 suivante (figure 1) on perce également d'abord un trou technologique 11 dans lequel on introduit l'électrode en fil 4 et on découpe selon le contour un orifice 12. Dans ce cas, l'angle $\alpha = 180^\circ$ (figure 3). Pour cette raison, on coupe encore la portion découpée 13 en deux parties 13a et 13b dont chacune correspond à un secteur d'angle $\alpha = 90^\circ$ (sur la figure 3, la position de départ des parties 13a et 13b de

la portion 13 et les deux positions extrêmes de l'électrode en fil 4 sont indiquées en traits interrompus).

Ensuite, ainsi qu'on l'a fait pour la formation de la cavité 9, on déplace les parties découpées 13a et 13b de la partie 13 vers l'axe central de l'ébauche 1 jusqu'à ce qu'elles se coincent dans l'orifice 12 et on les fixe en position par soudage.

Pour la formation de chacune des cavités suivantes (non représentées), on procède de la même manière.

10 Les portions découpées déplacées vers l'axe central de l'ébauche et fixées dans la position requise non seulement forment des cavités, mais confèrent aussi à l'électrode cylindrique la rigidité nécessaire tout en conservant la construction monolithe.

15 La fixation des portions découpées de l'ébauche peut aussi bien être réalisée, par exemple, par collage ou brasage.

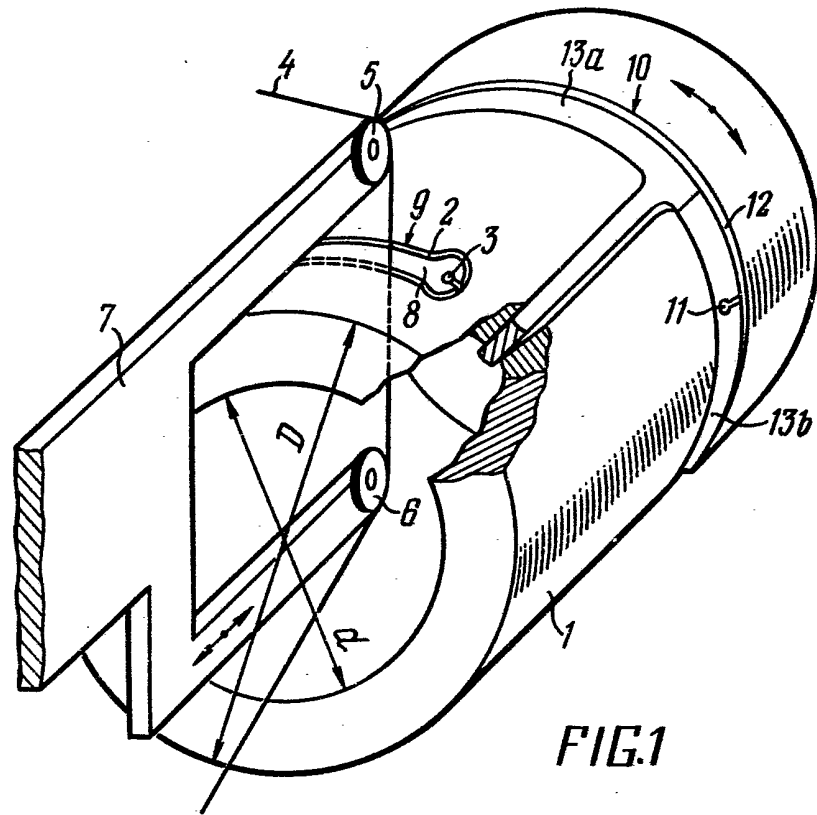
Les cavités formées par le procédé qui vient d'être décrit peuvent au besoin être remplies d'une matière diélectrique.

20 Les expériences effectuées ont montré que la précision de la fabrication de l'électrode cylindrique par le procédé conforme à l'invention est de 2 à 3 fois plus grande et les dépenses de travail 5 à 10 fois plus petites qu'en cas d'utilisation du procédé connu basé sur l'emploi de l'électrode-outil plate. Dans l'application pratique du procédé, objet de l'invention, il est facile d'atteindre un haut niveau d'automatisation du procédé technologique, surtout si on utilise des machines pour le découpage de contours par électro-érosion à commande programmée.

Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée au mode de réalisation décrit et représenté qui n'a été donné qu'à titre d'exemple. En particulier, elle comprend 35. tous les moyens constituant des équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci sont exécutées suivant son esprit et mises en oeuvre dans le cadre de la protection comme revendiquée.

R E V E N D I C A T I O N S

- 1.- Procédé de fabrication d'une électrode cylindrique pour la gravure électrochimique de circuits imprimés, du type consistant à former par électro-érosion, dans une ébauche cylindrique, des cavités dont la forme correspond à celle des conducteurs du circuit imprimé, caractérisé en ce qu'on effectue la formation par électro-érosion de chaque cavité (9) dans une ébauche (1) réalisée sous forme d'un cylindre creux dans lequel on découpe, au moyen d'une électrode en fil (4), un orifice débouchant (2) à contour fermé, dont la forme correspond à celle d'un conducteur du circuit fermé, après quoi on déplace la portion découpée (8) de l'ébauche (1) vers l'axe central de celle-ci jusqu'à ce que cette portion
- 5 10 15. découpée se coince dans l'orifice (2), après quoi on la fixe en position.
- 2.- Electrode pour la gravure électrochimique de circuits imprimés, caractérisée en ce qu'elle est obtenue par le procédé faisant l'objet de la revendication 1.



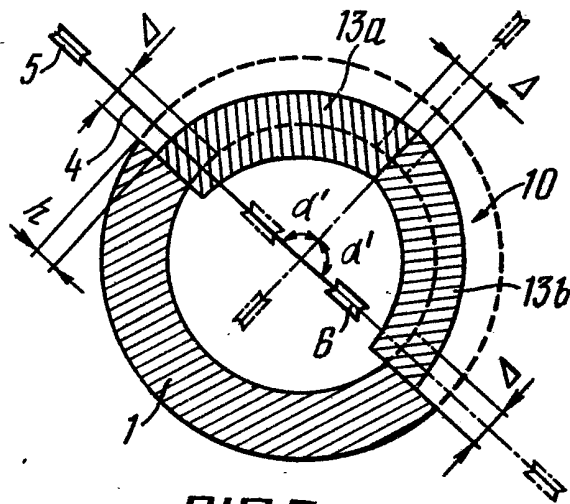


FIG. 2

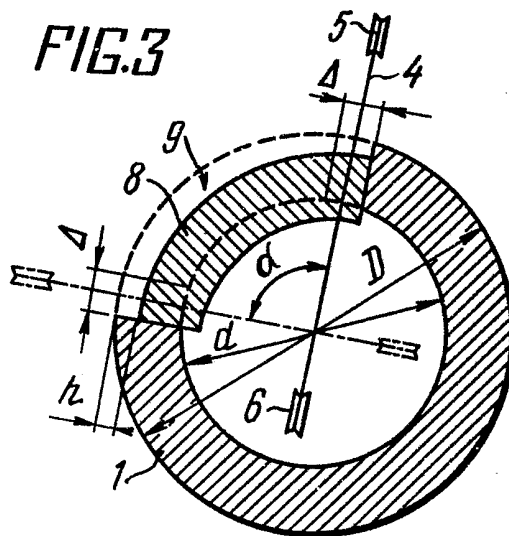


FIG. 3