

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 14996

(54) Procédé de fabrication d'outils formants métalliques par galvanoplastie et outils formants obtenus par ledit procédé.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). C 25 D 1/00; B 23 P 1/00.

(22) Date de dépôt..... 31 juillet 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° 5 du 4-2-1983.

(71) Déposant : EXPERIMENTALNY NAUCHNO-ISSLEDOVATELSKY INSTITUT METALLOREZHUS-CHIKH STANKOV. — SU.

(72) Invention de : Maxim Lvovich Levit, Igor Valerievich Tsvetkov, Oleg Vadimovich Padalko et Tatyana Kasimovna Khudoberdina.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

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

La présente invention concerne les méthodes de fabrication électrochimiques et a notamment pour objet un procédé de fabrication d'outils formants métalliques par galvanoplastie, ainsi que les outils formants fabriqués
5 conformément audit procédé.

L'invention peut être appliquée avec une efficacité maximale, notamment, à la fabrication d'outils formants de forme, par exemple celle des éléments rapportés des outils d'usinage par déformation, des moules à pression
10 pour le caoutchouc et les matières plastiques, des coquilles pour le moulage d'alliages à bas point de fusion et des électrodes-outils pour les machines d'usinage par électro-érosion et électrochimique.

En outre, l'invention peut être appliquée avec
15 efficacité dans les constructions mécaniques et électriques, en électronique et dans d'autres branches de l'industrie, pour la fabrication de pièces minces à géométrie compliquée, par exemple de buses de diverses configurations, de carènes, de réflecteurs, de composants de guides d'ondes pour la
20 radioélectricité, d'enceintes de blindage pour les appareils électroniques aérospatiaux.

A l'heure actuelle, la galvanoplastie est largement appliquée dans l'industrie, où elle permet de fabriquer économiquement, sans déchets et avec une grande précision,
25 aussi bien des pièces miniatures que des pièces de grandes dimensions de forme compliquée, bien souvent avec des propriétés physico-mécaniques uniques. En même temps que des avantages, la galvanoplastie présente des inconvénients limitant son champ d'application et abaissant l'efficacité de sa mise en oeuvre. Les principaux inconvénients de la
30 galvanoplastie sont l'irrégularité de l'épaisseur de la couche déposée et la longue durée du processus de dépôt du métal. Il est à noter que ces inconvénients de la galvanoplastie sont étroitement liés entre eux. L'effet
35 défavorable de ces facteurs est fortement tributaire de la configuration de la matrice.

En galvanoplastie, quand il s'agit de déposer

des métaux par électrolyse, on se sert de la loi de Faraday pour calculer l'épaisseur du dépôt. L'épaisseur théorique du dépôt est directement proportionnelle à la densité de courant employée, à l'équivalent électrochimique, au rendement en courant et à la durée de l'électrolyse, et inversement proportionnelle à la densité du métal déposé. Le calcul ne donne toutefois qu'une estimation de la valeur moyenne du dépôt, alors que, même sur des cathodes plates situées à des distances égales des anodes, la densité de courant et l'épaisseur de la couche ont une distribution irrégulière. Aux angles et sur les bords, la densité du courant est bien plus grande que la valeur moyenne (effet dit "de bord"), ce qui est dû à la concentration des lignes de force du champ électrique aux angles vifs. Une irrégularité de la distribution du courant encore plus forte est observée quand l'électrolyse s'effectue sur des matrices-cathodes de forme. L'irrégularité de l'épaisseur du dépôt électrolytique sur les matrices-cathodes de forme s'explique avant tout par l'inégalité de résistance entre l'anode et les différentes zones de la cathode, et, par conséquent, par les valeurs différentes de la densité du courant dans ces zones. Une telle distribution du dépôt est dite primaire. Elle n'est possible qu'en l'absence de polarisation cathodique.

La séparation électrolytique du métal est accompagnée par des variations du potentiel de la cathode pendant le processus en fonction de la densité du courant. La distribution réelle du courant dépend aussi de la composition de l'électrolyte et du régime du processus. Une telle distribution est dite secondaire ; elle est toujours plus régulière que la distribution primaire. Le degré de redistribution du courant et du métal à la surface de la cathode dans le sens d'une plus grande uniformité est caractérisé par le pouvoir diffusant de l'électrolyte. Pour son évaluation quantitative, on l'exprime comme étant "l'écart" (en %) de la distribution du métal par rapport à la distribution primaire du courant. La régularité de la distribution du dépôt est, aussi influencée par la

température de l'électrolyte. Une température élevée abaisse la polarisation cathodique, cet effet étant d'autant plus faible que la densité du courant est plus forte. Ceci s'explique par le fait que le rendement en courant baisse
5 quand la densité du courant croît et que l'hydrogène qui se dégage brasse énergiquement les couches d'électrolyte à la cathode, ce qui abaisse sa polarisation. L'influence du brassage est à peu près la même que celle de l'accroissement de la température, c'est-à-dire qu'il altère la régula-
10 rité de la distribution du métal à la surface de la matrice-cathode.

La configuration de la matrice-cathode influe aussi sur la durée du processus de dépôt électrolytique d'une couche de métal d'épaisseur voulue. Comme on l'a
15 montré plus haut, la densité du courant n'est pas uniforme sur les matrices-cathodes de forme. Sur les parties saillantes elle peut être de plusieurs fois plus grande qu'une certaine valeur moyenne sur une partie plate de la matrice-cathode, et dans les creux, au contraire, de plusieurs
20 fois plus faible. La densité de courant maximale admissible est limitée par le régime prescrit d'électrolyse et son accroissement conduit à la détérioration de la structure du dépôt, c'est-à-dire à une mise au rebut. On règle donc la densité du courant de telle façon qu'elle ne dépasse pas
25 la valeur maximale admissible sur les parties saillantes, ce qui abaisse la densité du courant sur tout le reste de la surface de la matrice-cathode. La densité du courant se trouve alors fortement réduite dans les creux de la matrice-cathode, ce qui entraîne une augmentation de
30 plusieurs fois de la durée du dépôt électrolytique d'une couche de métal d'épaisseur requise. Par exemple, la fabrication par galvanoplastie d'une électrode en cuivre pour une machine d'électroérosion dure de 400 à 500 heures selon la complexité de la surface "active" de la matrice.
35. Dans le cas d'une géométrie (forme) compliquée de la matrice, la densité du courant à la cathode est limitée à 2-3 A/dm². L'augmentation de la densité du courant

au-dessus de 10 A/dm^2 conduit au dépôt du métal à la cathode essentiellement sous forme de dendrites sur les parties saillantes de la matrice, et sous forme d'une masse spongieuse poudreuse, constituée de fines particules faiblement liées entre elles.

Les tentatives faites pour obtenir une épaisseur uniforme du dépôt électrolytique ont abouti à un procédé de fabrication, par galvanoplastie, par exemple de tamis, de coques ondulées.

Le procédé connu consiste en ce qui suit. La matrice est raccordée au pôle négatif d'une source électrique d'alimentation, et l'anode, réalisée sous la forme d'un faisceau de conducteurs constituant une brosse, est raccordée au pôle positif de la source d'alimentation. Le métal se dépose sur la matrice, plongée dans l'électrolyte, la brosse-anode se déplaçant par rapport au modèle, suivant sa surface. Ce procédé est l'une des variantes de dépôt au tampon, aussi ne peut-il être efficacement appliqué à la fabrication des électrodes-outils pour les machines d'électroérosion, car, dans le procédé connu, le dépôt électrolytique s'effectue dans un petit volume, sans renouvellement de l'électrolyte, ce qui rend difficile le déroulement du processus aux fortes densités de courant.

On connaît un procédé de fabrication d'outils formants métalliques par galvanoplastie, par exemple d'électrodes en cuivre pour machines d'électro-érosion, consistant en ce qui suit. La matrice est raccordée au pôle négatif d'une source électrique d'alimentation, et l'électrode, au pôle positif de la source d'alimentation. L'électrolyte est pompé à travers un écartement étroit (moins de 1 mm) prévu entre l'anode profilée, corrigée de la valeur de l'interélectrode, et la matrice-cathode. Le métal se dépose sur la matrice-cathode avec une densité de courant sur celle-ci de 400 à 1000 A/dm^2 . L'écartement est maintenu constant entre l'anode et la matrice-cathode, par déplacement de l'anode en fonction d'un signal de commande dépendant de la valeur de l'écartement.

Ce procédé connu permet d'obtenir sur la matrice une couche de métal déposé d'épaisseur uniforme et est caractérisé par un rendement élevé. Toutefois, sa mise en oeuvre requiert la fabrication d'une anode profilée, corrigée de la valeur de l'interélectrode, ce qui réduit à néant la diminution des dépenses de main-d'oeuvre pour la fabrication des outils formants, donnée par la mise en oeuvre de la galvanoplastie.

On s'est donc proposé d'élaborer un procédé de fabrication d'outils formants métalliques par galvanoplastie à haut rendement, qui assurerait un abaissement du coût de fabrication desdits outils, tout en améliorant leurs propriétés physico-mécaniques et l'uniformité de la couche de métal déposée sur la surface d'une matrice de forme, grâce à la création, auprès de la surface de la matrice, d'une turbulence plus uniforme de l'électrolyte et d'une intensité plus uniforme du champ électrique aux fortes densités de courant.

La solution consiste en un procédé de fabrication d'outils formants métalliques par galvanoplastie, suivant lequel on fait passer un écoulement d'électrolyte dans l'écartement entre la matrice et une électrode, puis on branche la matrice et l'électrode sur une source électrique d'alimentation, de façon à assurer le dépôt du métal sur la matrice, procédé dans lequel, d'après l'invention, le dépôt du métal est réalisé dans un écoulement d'électrolyte fortement turbulent, le nombre de Reynolds Re se situant entre environ $1,0 \cdot 10^4$ et environ $6 \cdot 10^4$, avec une densité du courant à la matrice se situant entre environ 50 et environ 350 A/dm^2 et avec un écartement (H) entre la matrice et l'électrode se situant entre environ 10 et environ 100 mm.

Un tel procédé assure un accroissement notable du rendement du processus de fabrication d'outils formants du type en hémisphère, grâce à la forte turbulence de l'écoulement d'électrolyte, le nombre de Reynolds se situant entre environ $1 \cdot 10^4$ et environ $6 \cdot 10^4$, ce qui permet de travailler avec de fortes densités de courant, se situant

entre environ 50 et environ 350 A/dm², à la matrice.
Les valeurs indiquées de l'écartement (H) entre la
matrice et l'électrode permettent de mettre en oeuvre
le procédé faisant l'objet de l'invention sans recourir
5 à une anode profilée.

La plage de valeurs du nombre de Reynolds
(Re) de l'écoulement d'électrolyte est choisie en partant
des considérations suivantes :

si Re est inférieur à $1,0 \cdot 10^4$, l'obtention d'une
10 couche de métal déposée de qualité requise, à savoir,
dense, à critaux fins et uniforme, avec de fortes densités
de courant, à partir d'environ 50 A/dm², s'avère impossible ;
si Re est supérieur à $6 \cdot 10^4$, dans la plage
indiquée des valeurs de l'écartement H entre la matrice et
15 l'électrode, la couche de métal obtenue est irrégulière
par suite de divers phénomènes hydrodynamiques apparaissant
dans l'écartement (H) de grande valeur.

Il est avantageux de diminuer l'écartement entre
la matrice et l'électrode d'environ 3 fois à environ 10 fois,
20 et de brancher alors le pôle positif de la source d'alimen-
tation à la matrice, et son pôle négatif, à l'électrode.

Par ce moyen, on obtient une égalisation de
l'épaisseur de la couche de métal déposée sur la matrice
et une suppression de la croissance des dendrites. La
25 valeur de la diminution de l'écartement entre la matrice et
l'électrode, d'environ 3 fois à environ 10 fois, a été
déterminée expérimentalement.

Si la diminution de l'écartement est inférieure
à 3 fois, l'effet d'égalisation de l'épaisseur de la
30 couche de métal déposée s'affaiblit et la croissance des
dendrites n'est pas supprimée.

Une diminution de l'écartement supérieure à
10 fois provoque l'apparition de courts-circuits, ce qui
perturbe le processus de dépôt électrolytique du métal
35 sur la matrice.

Il est recommandé d'interrompre l'admission
de l'électrolyte quand l'écartement entre la matrice et

l'électrode est diminué.

L'interruption de l'admission de l'électrolyte quand l'écartement est diminué entre la matrice et l'électrode provoque une augmentation de la couche de diffusion de l'électrolyte auprès de la surface de la matrice, ce qui accroît le pouvoir sélectif de dissolution des dendrites à la surface de la matrice et renforce l'effet d'égalisation de l'épaisseur de la couche de métal déposée sur la matrice.

Il est préférable, quand on utilise une électrode sous forme de tubes, de choisir pour l'écartement entre les parois des tubes une valeur minimale satisfaisant à l'inégalité :

$$a \geq \frac{D}{2}$$

a étant l'écartement minimal entre les parois des tubes, D, le diamètre extérieur des tubes, de faire descendre les tubes jusqu'à ce qu'ils contactent la surface "active" de la matrice, et de les fixer, puis de faire remonter les tubes fixés d'une valeur correspondant à l'écartement entre la matrice et l'électrode et déterminée de façon qu'elle satisfasse à l'inégalité :

$$H \geq 2a,$$

H étant l'écartement entre la matrice et l'électrode, a, l'écartement minimal entre les parois des tubes, la circulation de l'électrolyte dans l'écartement (H) entre la matrice et l'électrode étant obtenue en l'admettant par les canaux des tubes et en l'évacuant par les écartements entre les tubes et par l'écartement (H) suivant le périmètre de la surface "active" de la matrice.

L'électrode constituée de tubes se comporte comme une électrode massive, grâce à l'action égalisatrice de l'électrolyte, ce qui permet d'obtenir une intensité plus uniforme du champ électrique à la surface de la matrice, et par conséquent, d'améliorer la régularité de la couche de métal déposée.

L'admission de l'électrolyte à travers les tubes et son évacuation à travers les écartements entre les parois

des tubes permettent de supprimer la formation de zones stagnantes aux angles de la matrice et d'obtenir une turbulence de l'électrolyte plus uniforme à la surface "active" de la matrice.

- 5 Le nombre de tubes est choisi maximal dans le périmètre donné de la matrice, ce qui permet une conformation plus complète de l'électrode à la géométrie de la surface "active" de la matrice.

10 Il est recommandé de disposer les tubes de telle façon que les axes de chaque jeu de trois tubes voisins constituent, en projection sur un plan perpendiculaire à ces axes, les sommets d'un triangle équilatéral.

15 Une telle disposition des tubes assure une intensité plus uniforme du champ électrique à la surface de la matrice, s'oppose à la formation de zones stagnantes, ce qui permet d'obtenir une couche de métal déposée d'épaisseur plus régulière.

20 L'invention sera mieux comprise et d'autres détails caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement au cours de la description explicative qui va suivre, faite en référence aux dessins schématiques annexés donnés uniquement à titre d'exemple, illustrant plusieurs modes de réalisation de l'invention et dans lesquels :

25 - la figure 1 représente schématiquement une partie de la tête porte-anode d'une machine d'usinage électrochimique pour la mise en oeuvre du procédé de fabrication d'outils formants métalliques par galvanoplastie, par exemple d'électrodes-outils en cuivre pour l'usinage par
30 électroérosion d'un moule à pression destiné à la production de vases en verre ;

 - la figure 2 représente les variations du courant (I) d'électrolyse en fonction du temps (), d'après l'invention ;

35. - la figure 2a représente les variations de l'écartement (H) entre la matrice et l'électrode en fonction du temps (τ), d'après l'invention ;

- la figure 2b représente les variations du débit (Q) de l'électrolyte dans l'écartement (H) entre la matrice et l'électrode en fonction du temps (τ), d'après l'invention ;

5 - la figure 3 représente schématiquement une partie de la tête porte-anode d'une machine d'usinage électrochimique pour la mise en oeuvre du procédé de fabrication d'outils formants métalliques par galvanoplastie, par exemple d'électrodes-outils en cuivre pour l'usinage
10 par électroérosion d'un moule à pression destiné à la production de boîtiers de rasoirs électriques ;

- la figure 4 représente une vue en coupe suivant IV-IV de la figure 3.

Pour mettre en oeuvre le procédé proposé de
15 fabrication par galvanoplastie d'électrodes-outils en cuivre pour l'usinage par électroérosion d'un moule à pression destiné à la production de vases en verre, on emploie une machine d'usinage électrochimique, dont la tête
20 porte-anode est équipée d'une électrode 1 (figure 1) insoluble, en acier inoxydable, raccordée par une amenée de courant 2 au pôle positif d'une source d'alimentation (non représentée). L'amenée de courant 2 est montée dans un boîtier 3 qui la protège de l'action de l'électrolyte dans la zone
25 où se déroulent les processus d'oxydation. Une coiffe 4 en matière plastique serre l'électrode 1 contre l'amenée de courant 2. L'électrode 1 est une coque hémisphérique à courbure positive, dans laquelle sont pratiqués des trous 5 pour l'admission, par exemple, d'un électrolyte au sulfate. La matrice 6 du moule à pression pour la production de
30 vases en verre est raccordée au pôle négatif de la source d'alimentation (non représentée). La distance entre l'électrode 1 et la matrice est telle que l'écartement H soit égal à 15 mm.

L'électrolyte en circulation, dont le sens
35 d'écoulement est montré sur la figure par des flèches, arrive à travers les trous 5 dans l'écartement H entre la matrice 6 et l'électrode 1. Le dépôt de la couche 7 de

cuivre s'effectue dans un écoulement d'électrolyte fortement turbulent, le nombre de Reynolds Re étant de 25.000, et avec une densité de courant à la matrice 6 de 100 A/dm^2 . La vitesse de dépôt du cuivre était de $0,4 \text{ mm/h}$, étant ainsi de 6 à 10 fois plus élevée que dans le cas de dépôt électrolytique dans des cuves d'électrolyse.

Pour égaliser l'épaisseur de la couche de cuivre 7 déposée et supprimer la croissance des dendrites, on diminue de 5 fois l'écartement H entre la matrice 6 et l'électrode 1, et l'on relie le pôle positif de la source d'alimentation (non représentée) à la matrice 6, et son pôle négatif, à l'électrode 1, l'admission de l'électrolyte dans l'écartement H étant alors interrompue. Les figures 2, 2a et 2b montrent les variations coordonnées du courant I , de l'écartement H entre l'électrode 1 (figure 1) et la matrice 6 et du débit Q (figure 2b) de l'électrolyte en fonction du temps.

Sur les figures 2, 2a, 2b :

T est la durée d'un cycle complet (d'une période) du courant ;
 τ_1 , la durée de l'impulsion de courant directe ;
 τ_2 , la durée de l'impulsion de courant inverse ;
 $H_{\max}$ la plus grande valeur de l'écartement entre la matrice 6 et l'électrode 1 (figure 1), égale à 10 mm ;
 $H_{\min}$ la plus petite valeur de l'écartement entre la matrice 6 et l'électrode 1 (figure 1), égale à 2 mm .

Pendant la durée de τ_1 de l'impulsion de courant directe, l'écartement étant $H_{\max}$, le métal se dépose sur la matrice 6, dans l'écoulement d'électrolyte ; pendant la durée τ_2 de l'impulsion de courant inverse, l'écartement étant $H_{\min}$, les dendrites se dissolvent sélectivement à la matrice 6. L'interruption du pompage de l'électrolyte pendant la durée de l'impulsion de courant inverse contribue à la dissolution sélective des dendrites, surtout sur les matrices à sculptures fines, en égalisant la microgéométrie, car il se produit alors une augmentation de l'épaisseur de la couche de diffusion

dans les creux. La régularité du dépôt ou de la dissolution du métal pendant l'électrolyse est une fonction directe de la vapeur de l'écartement H entre la matrice 6 et l'électrode 1, ce qui explique la dissolution sélective des dendrites pendant l'impulsion de courant inverse.

Outre la suppression de la croissance des dendrites, il se produit une égalisation de l'épaisseur de la couche de cuivre déposée 7.

La durée τ_1 de l'impulsion de courant directe était de 60s, et la durée τ_2 de l'impulsion de courant inverse, de 10 s. La couche de cuivre 7 était déposée au sein d'un écoulement d'électrolyte fortement turbulent, le nombre de Reynolds Re étant de 50000, avec une densité de courant à la matrice de 200 A/dm². La vitesse de dépôt du cuivre était de 0,6 mm/h. Le dépôt du cuivre sur la matrice 6 pendant la durée τ_1 s'effectuait avec un écartement $H_{\max}$ de 10 mm entre la matrice et l'électrode, et pendant la durée τ_2 , avec un écartement $H_{\min}$ de 2 mm et interruption de l'admission de l'électrolyte.

Pour mettre en oeuvre le procédé proposé de fabrication par galvanoplastie d'électrodes-outils en cuivre pour l'usinage par électroérosion d'un moule destiné à la production de boîtiers de rasoirs électriques, on emploie une machine d'usinage électrochimique, dont la tête porte-anode comporte un boîtier 8 (notamment en titane) à l'intérieur duquel est placée l'électrode, constituée par des tubes 9 de cuivre. L'écartement minimal "a" entre les parois des tubes 9 est déterminé conformément à l'inégalité $a \geq \frac{D}{2}$, où D est le diamètre extérieur des tubes. Le boîtier 8 est raccordé au pôle positif de la source d'alimentation (non représentée) et fait office d'amenée de courant pour les tubes 9.

La matrice 10 est raccordée au pôle négatif de la source d'alimentation et fixée sur la table 11 en matière plastique de la machine d'usinage électrochimique. On fait descendre les tubes 9 jusqu'à ce qu'ils entrent en contact avec la surface "active" de la matrice 10 et on les

fixe dans le boîtier 8 par un moyen connu quelconque.
Ensuite on fait remonter les tubes 9 fixés au-dessus de
la matrice 10 jusqu'à une hauteur égale à l'écartement H.
L'écartement H est déterminé en accord avec l'inégalité

- 5 $H \geq 2a$, c'est-à-dire qu'il ne doit pas être inférieur au
diamètre extérieur des tubes.

L'électrolyte admis sous pression dans le
boîtier 8 arrive dans l'écartement H en passant par les
canaux des tubes 9, et il est évacué à travers les écarte-
10 ments entre les parois des tubes 9 et l'écartement H suivant le
périmètre de la surface "active" de la matrice 10. Le cuivre
se dépose alors sur la matrice 10.

Le dépôt électrolytique du cuivre sur la
matrice 10 est réalisé dans un écoulement d'électrolyte
15 fortement turbulent, le nombre de Reynolds se situant
entre environ $1,0 \cdot 10^4$ et environ $6 \cdot 10^4$, avec une densité
de courant à la matrice se situant entre environ 50 et
environ 350 A/dm^2 et un écartement H entre la matrice et
l'électrode se situant entre environ 10 et environ 100 mm.

20 Dans l'exemple considéré, l'anode constituée
de tubes se comporte comme une anode massive à surface
"active" partiellement profilée, ce qui permet d'obtenir une
intensité plus régulière du champ électrique à la surface
de la matrice 10 et, par conséquent, de supprimer la
25 formation de dendrites et d'accroître la régulation de
l'épaisseur de la couche déposée. L'admission de l'électro-
lyte à travers les tubes 9 et son évacuation à travers les
écartements entre ces tubes permettent de supprimer la
formation de zones stagnantes aux angles de la matrice et
30 d'obtenir une turbulence de l'électrolyte plus régulière
à la surface de la matrice 10. Le nombre de tubes 9 est
choisi maximal dans le périmètre considéré de la matrice
et les tubes 9 sont disposés de telle façon que les axes
de chaque jeu de 3 tubes 9 voisins (figure 4) constituent,
35 dans la projection sur un plan perpendiculaire à ces axes,
les sommets d'un triangle équilatéral.

Pour la fabrication d'une électrode-outil

- pour l'usinage par électroérosion d'un moule à pression destiné à la production de boîtiers de rasoirs électriques, on a employé une électrode constituée de tubes en cuivre de 6 x 1 mm, montés avec un écartement de 3 mm entre eux.
- 5 La surface "active" de la matrice était de 1 dm², la surface de sa projection sur un plan perpendiculaire à l'axe de la matrice était de 0,3 dm², le coefficient de complexité de la forme, exprimé comme le rapport de la profondeur à la largeur, était de 1 à 1,5, le rayon minimal de courbure
- 10 de la surface était de 3 mm. La durée de l'opération de dépôt d'une couche de cuivre de 1 à 3 mm s'est élevée à 16 heures, avec une densité de courant à la matrice de 50 A/dm² et un nombre de Reynolds de l'écoulement d'électrolyte Re égal à $5 \cdot 10^4$ dans l'écartement H entre la matrice
15. et l'électrode, qui était de 10 mm.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'outils formants
 métalliques par galvanoplastie, du type dans lequel un
 écoulement d'électrolyte est amené dans l'écartement entre
 5 une matrice et une électrode, puis la matrice et l'électrode
 sont branchées sur une source électrique d'alimentation de
 façon à assurer le dépôt du métal sur la matrice, caractérisé
 en ce que le dépôt de métal est réalisé dans un écoulemenmt
 d'électrolyte fortement turbulent, le nombre de Reynolds
 10 se situant entre environ $1,0.10^4$ et environ 6.10^4 , avec une
 densité du courant à la matrice 6 se situant entre environ
 50 et environ 350 A/dm² et avec un écartement H entre la
 matrice 6 et l'électrode 1 se situant entre environ 10 et
 environ 100 mm.

15 2. Procédé de fabrication d'outils par galvano-
 plastie selon la revendication 1, caractérisé en ce que
 l'on diminue d'environ 3 à environ 10 fois l'écartement
 entre la matrice et l'électrode et qu'on relie le pôle
 positif de la source d'alimentation à la matrice, et son
 20 pôle négatif, à l'électrode.

3. Procédé de fabrication par galvanoplastie
 selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce
 que l'on interrompt l'admission de l'électrolyte lors de
 ladite diminution de l'écartement entre la matrice et
 25 l'électrode.

4. Procédé de fabrication par galvanoplastie
 selon l'une des revendications 1, 2 et 3, caractérisé en
 ce que l'on utilise une électrode constituée de tubes, on
 choisit pour l'écartement minimal entre les parois des tubes
 30 une valeur telle qu'elle satisfasse à l'inégalité :

$$a \geq \frac{D}{2},$$

a étant l'écartement minimal entre les parois des tubes,
 D, le diamètre extérieur des tubes, on fait descendre les
 35. tubes jusqu'à ce qu'ils entrent en contact avec
 la surface "active" de la matrice et on les fixe ,

5

3

10

15

20.

7. Outils formants métalliques, caractérisés en ce qu'ils sont obtenus par le procédé faisant l'objet de l'une des revendications 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

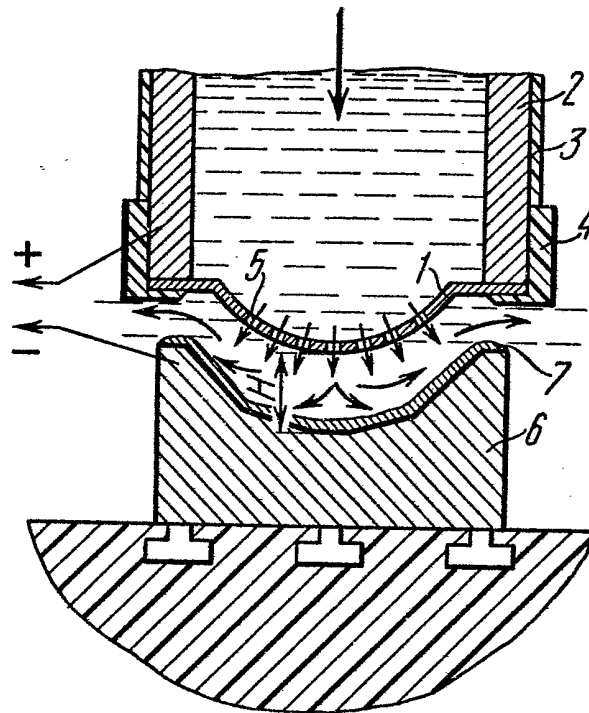


FIG. 1

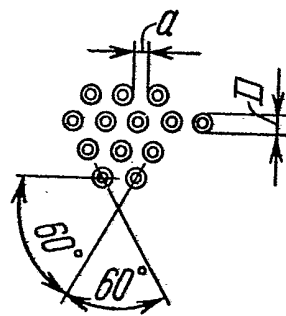


FIG. 4

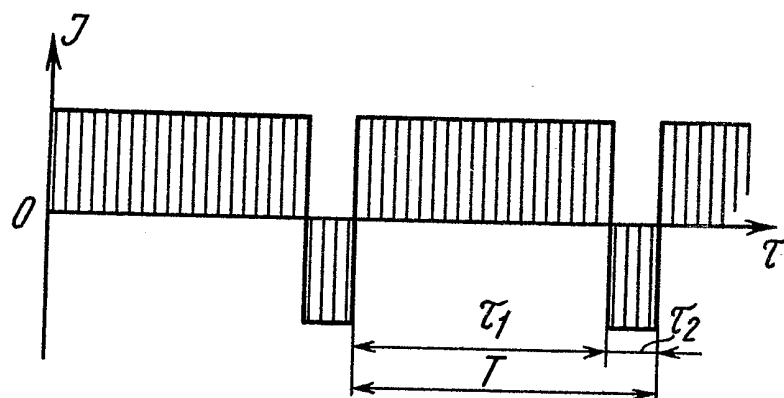


FIG. 2

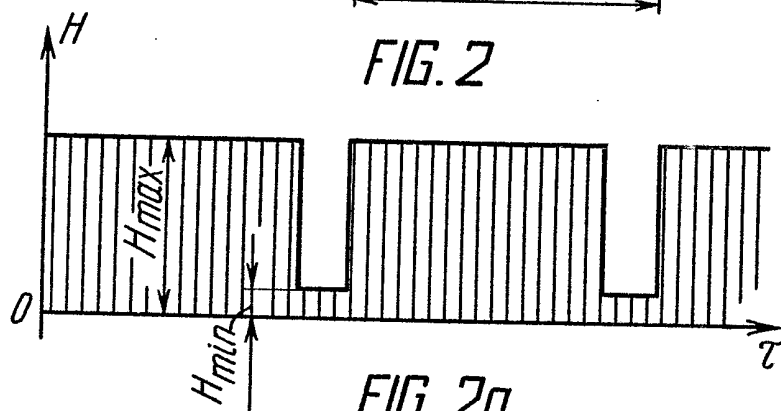


FIG. 2a

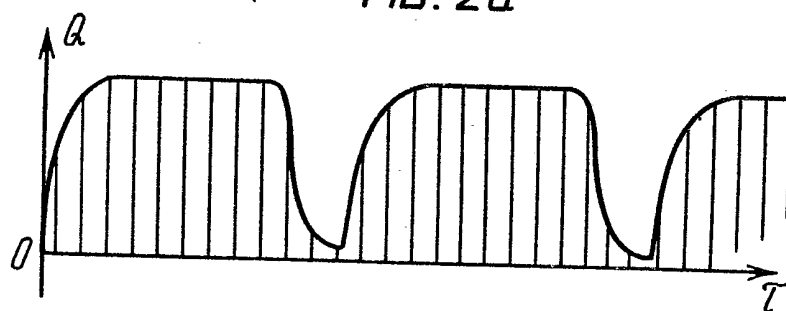


FIG. 2b

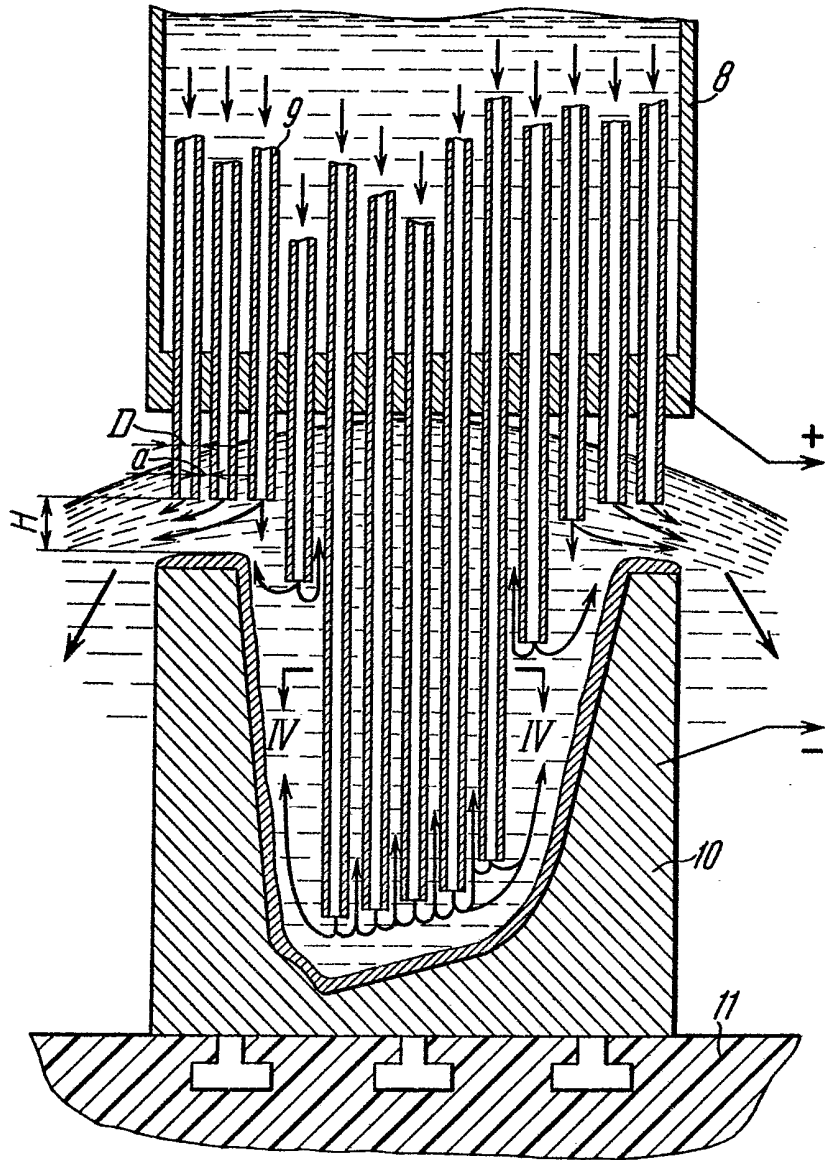


FIG. 3