

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑪

N° 82 21780

-
- ⑤④ Procédé pour former une cavité dans une pièce métallique et appareil pour la mise en œuvre de ce procédé.
- ⑤① Classification internationale (Int. Cl.³). B 23 P 1/10; B 23 B 39/08; B 23 P 15/24, 23/02.
- ②② Date de dépôt..... 24 décembre 1982.
- ③③ ③② ③① Priorité revendiquée : JP, 24 décembre 1981, n° 56-212.640.
- ④① Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 26 du 1-7-1983.
-
- ⑦① Déposant : Société dite : INOUE-JAPAX RESEARCH INCORPORATED. — JP.
- ⑦② Invention de : Kiyoshi Inoue.
- ⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①
- ⑦④ Mandataire : Cabinet André Netter,
40, rue Vignon, 75009 Paris.
-

Procédé pour former une cavité dans une pièce métallique
et appareil pour la mise en oeuvre de ce procédé.

La présente invention a trait à l'usinage de contours
5 tridimensionnels et, plus particulièrement, à une méthode et
un appareillage nouveaux et perfectionnés destinés à former,
dans une pièce, une cavité de contour tridimensionnel
déterminée, en vue de produire un moule ou une matrice, par
exemple.

10

D'une manière générale, certains moules, matrices et
autres produits, demandent à être usinés en vue d'acquérir
des contours tridimensionnels très complexes. Ces produits
ont, jusqu'à présent, été réalisés par fraisage, par recti-
15 fication, à l'aide d'une machine conçue pour travailler par
décharge électrique (EDM) ou par usinage électrochimique
(ECM) ou encore par une combinaison de fraisage de rectifi-
cation et d'érosion électrique ou chimique. Cependant, pour
autant que le déposant ne le sache, aucune tentative n'a été
20 faite dans ce domaine pour appliquer les techniques de
perçage à la production d'une matrice, d'un moule ou de tout
autre objet de contours complexes.

Il est reconnu que les procédés d'usinage de type
électrique ou électrochimique sont capables de reproduire
25 pratiquement les contours tridimensionnels les plus
complexes avec un degré de précision extrêmement élevé. En
revanche, leur taux d'enlèvement de matière est relativement
faible. Des techniques de fraisage et de rectification ont
également été développées avec une orientation particulière
30 vers l'usinage des matrices et des moules. En fait, ces

techniques ont été utilisées pour ébaucher les contours de matrices ou de moules. Ces profils, ébauchés par fraisage ou par rectification, sont généralement finis manuellement par un ouvrier hautement spécialisé, ce qui est, à la fois, lent et onéreux. On a également proposé d'utiliser des techniques d'usinage électrique pour la finition des contours ébauchés par fraisage ou par rectification.

Il n'en subsiste pas moins un désir constant de réduire les quantités totales de temps et de travail investies dans la production d'une matrice, d'un moule ou de tout autre objet présentant un contour tridimensionnel complexe.

La présente invention se pose comme but important d'offrir une méthode nouvelle et perfectionnée pour réaliser un contour tridimensionnel. Cette méthode est beaucoup plus efficace que les procédés classiques ; elle réduit radicalement le temps total nécessaire pour façonner la cavité voulue dans un bloc de matière brute.

Un autre but de l'invention consiste à fournir un équipement nouveau, d'encombrement relativement réduit, capable de mettre en pratique la méthode décrite.

En conformité avec la présente invention, un premier aspect présente une méthode de façonner, dans une pièce, une cavité ayant un contour tridimensionnel défini. Cette méthode comporte une première étape : a) consistant à percer mécaniquement un nombre important de trous dans la pièce, à savoir dans la totalité de la zone tridimensionnelle destinée à former la cavité. Cette opération de perçage est limitée par un profil programmé correspondant à ladite zone tridimensionnelle de sorte qu'il ne reste sur la pièce que la quantité minimale de matière non encore enlevée. Au cours de la deuxième étape b), cette quantité minimale de matière restant entre les perçages et se trouvant dans la zone programmée de l'empreinte est enlevée à l'aide d'au moins une électrode d'usinage dont la surface présente une forme complémentaire au contour de la cavité. L'électrode, positionnée pour être parallèle au profil programmé, enlève

la matière résiduelle par (b1) le passage d'un courant d'électroérosion dans l'intervalle séparant l'électrode d'usinage et la surface à générer, en présence d'un fluide d'usinage électrique qui remplit lesdits trous et ledit intervalle. L'électrode est animée d'un mouvement d'avance (b2) en vertu duquel elle pénètre dans la pièce tout en conservant le parallélisme mentionné ci-dessus et en maintenant relativement constant l'intervalle d'usinage jusqu'à ce que la surface de l'électrode ne soit plus distante du profil programmé que de la valeur dudit intervalle.

Spécifiquement, dans l'opération (a), les trous multiples sont percés respectivement à des profondeurs individuellement prédéterminées de sorte que le profil tracé par le lieu des fonds des trous soit relativement conforme et équidistant du profil programmé. Les perçages multiples, au moins dans leur grande majorité, pour plus de facilité d'exécution, sont, de préférence, disposés pour être autant que possible parallèles entre eux.

De préférence, ces trous multiples peuvent encore en comporter un certain nombre percés obliquement de manière à couper les perçages parallèles. De plus, l'opération (b) comporte une phase d'irrigation en vertu de laquelle le fluide d'usinage circule à travers les perçages obliques pour créer un courant dynamique de fluide d'usinage à travers l'intervalle d'érosion.

De préférence, l'opération (a) est effectuée avec des outils de perçage ayant des dimensions différentes afin de produire des séries de trous de diamètres différents. Ces séries différenciées de trous sont, de préférence, percées successivement dans la région considérée. Les trous parallèles sont, de préférence, orientés dans une direction correspondant sensiblement à celle de l'avance de l'électrode-outil au cours de l'opération (b2). De préférence, les trous, tout au moins ceux ayant le plus fort diamètre, sont percés dans la région de l'empreinte de telle manière que leurs axes soient équidistants les uns des

autres. Les trous d'au moins une des autres séries sont percés dans les intervalles subsistant entre les trous du plus grand diamètre. De préférence, une autre série de trous ayant le diamètre le plus petit sont percés dans les

5 intervalles subsistant entre les séries précédentes de trous, au voisinage du contour programmé de la cavité.

De préférence, l'électrode unique dont il est question ci-dessus sera remplacée par plusieurs outils d'érosion comportant une électrode d'ébauchage et des électrodes de
10 finition. Cela signifie que, dans la phase (b), une quantité importante de matière, subsistant après l'usinage mécanique constitué par le perçage de trous multiples, sera enlevée par l'électrode d'ébauchage et qu'au moins une partie de la matière restant entre la fin de course des forêts de perçage
15 et la courbe programmée sera enlevée par érosion à l'aide de l'électrode de finition.

L'invention, dans un second aspect, comporte également l'appareillage d'exécution du premier aspect de l'opération, à savoir un chariot porte-outil capable de recevoir au moins
20 un outil de perçage et au moins une électrode-outil d'usinage par érosion. L'invention comprend également des éléments de commande, des organes d'exécution capables de répondre aux signaux du système de commande en vue de faire avancer le chariot porte-outil pour que, d'une part, il
25 amène sélectivement l'outil de perçage chargé de l'exécution de la phase (a) dans la position de perçage respective par rapport à l'électrode et que, d'autre part, il permette à l'électrode d'effectuer la phase (b) consécutivement à la phase (a) et lui permette de prendre, par rapport à la
30 pièce, une position propre à l'exécution de l'opération d'érosion. L'invention comporte finalement les moyens de mise en rotation de l'outil de perçage pendant la phase (a) ainsi que les moyens d'alimenter les perçages et l'intervalle d'usinage en fluide d'usinage électrique pendant la
35 phase (b). Il y aura également des moyens utilisables

sélectivement en phase (b) pour faire passer le courant électrique d'usinage entre l'électrode-outil et la pièce ainsi que des moyens de faire avancer l'outil de perçage en phase (a) et l'électrode en phase (b), d'une part pour forer
5 chacun des trous multiples en phase (a) et, d'autre part, pour usiner électriquement le reliquat de matière en phase (b).

Ces particularités de la présente invention ainsi que d'autres aspects et avantages apparaîtront plus clairement à
10 la lecture de la description suivante et à l'examen du dessin joint, concernant certains éléments intrinsèques de l'invention.

La figure 1(A) est une représentation latérale schématique illustrant la manière dont les trous multiples sont
15 forés dans la pièce par des moyens mécaniques, à l'aide d'un outil de perçage, dans les limites d'une cavité tridimensionnelle dont la forme est réalisée par la méthode conforme à la présente invention.

La figure 1(B) est une vue en plan schématisant la
20 pièce dans laquelle les trous ont été percés.

La figure 2 est une coupe schématique latérale montrant la méthode d'usinage électrique de la pièce représentée à la figure 1(B).

La figure 3 est une représentation schématique d'une
25 manière recommandée de percer les trous dans la pièce, conformément à l'invention.

Les figures 4(A) et 4(B) sont des coupes schématisant respectivement l'outil de perçage et la pièce et montrant la manière de régler la profondeur de chaque trou, conformément
30 au principe de l'invention.

La figure 5 est une vue latérale, partiellement en coupe et partiellement en élévation, schématisant un mécanisme permettant de mettre en application la méthode de cette invention.

La figure 6 est une vue avant illustrant une forme possible du magasin d'outils faisant partie du mécanisme de la figure 5.

5 Finalement, la figure 7 est une coupe latérale montrant un détail du mécanisme de la figure 5, conçu pour effectuer l'usinage électrique de la pièce préalablement percée.

10 Les figures 1(A) et 1(B) représentent la pièce 1 constituée par un bloc rectangulaire dans lequel on se propose d'usiner la cavité 2 comportant le bord 2a et le profil tridimensionnel 2b en vue, par exemple, de constituer une matrice. En application de la méthode constituant la présente invention, on commence par forer un certain nombre de trous 3, à l'aide de l'outil 4, dans la pièce 1 et, en particulier, dans la zone destinée à constituer la cavité 2
15 délimitée par le bord 2a et le profil 2b. Après cela, la pièce percée 1 est soumise à un usinage électrique, comme le montre la figure 3. L'usinage, effectué soit par décharges électriques (EDM), soit par un procédé électrochimique (ECM), permet d'enlever la matrice résiduelle de la pièce et de
20 finir le contour tridimensionnel 2b à l'aide de l'électrode-outil 5, de profil complémentaire.

Dans la phase de perçage, un seul outil 4, d'un diamètre donné, peut être utilisé pour forer un certain nombre de trous 3 d'un diamètre correspondant uniforme.
25 Cependant, il est généralement préférable d'utiliser des outils de forage de diamètres différents 4l, 4m, 4n, comme le montre la figure 1(A), afin de disposer de plusieurs séries de trous de diamètres différents 3l, 3m, 3n, comme le montre la figure 1(B). Ainsi, l'outil 4l, de grand diamètre,
30 peut être utilisé pour commencer à forer une série de trous équidistants, relativement grands, dont chacun atteint une profondeur allant jusqu'à une distance définie du contour final 2b. Cela fait, l'outil 4m, de diamètre intermédiaire, est utilisé pour forer un certain nombre de trous de taille
35 moyenne 3m, également équidistants entre eux mais se situant dans les intervalles entre les grands trous 3l. L'outil 4n,

de petit diamètre, peut ensuite être utilisé pour percer un certain nombre de trous 3_n, de manière analogue, dans les intervalles entre les grands trous 3_l et les trous moyens 3_m. Dans la figure 1(B), les petits trous 3_n se situent dans les zones proches du bord 2_a de la cavité, de sorte que les trous 3_l, 3_m et 3_n, qui ponctuent le profil, sont distribués de manière à suivre de près le bord 2_a.

On verra plus tard, en détail, qu'il est préférable de monter les outils de différents diamètres sur un changeur automatique. Ils sont alors successivement amenés à des positions de perçage, programmées d'avance en corrélation avec les positions de perçage et les diamètres des autres outils, d'une manière telle qu'une distribution optimale est réalisée entre les séries de trous 3_l, 3_m et 3_n, de diamètres différents, qui occupent, autant que possible, le volume destiné à constituer la cavité 2. De plus, comme le montre la figure 1(A), il est recommandé de forer un bon nombre de trous obliques à l'aide d'un ou plusieurs outils 4_s afin de constituer des canaux d'irrigation par lesquels le fluide d'érosion peut circuler pendant le stade ultérieur de l'usinage afin d'améliorer l'efficacité de l'opération électrique de finition.

Dans l'opération préliminaire de perçage qui assure un enlèvement intrinsèque important de matière (environ 1000 grammes/s dans l'acier), il est souhaitable d'enlever un maximum de matière de la pièce 1 dans la zone de celle-ci se situant à l'intérieur du contour imaginaire 2_b. Dans l'opération subséquente d'usinage électrique, seule une quantité minimale de matière reste à enlever, ce qui favorise l'obtention d'un contour 2_b de grande précision qui caractérise l'usinage électrique. La phase d'usinage électrique doit, de préférence, se faire en électroérosion pure et la description que nous en donnerons par la suite sera basée sur ce procédé de finition.

Pour les opérations préliminaires d'usinage, n'importe quelle méthode de perçage des séries de trous 3, à l'intérieur des profils 2_a et 2_b de la pièce 1, peut être adoptée. La figure 3 montre un exemple de méthode à préférer. On voit

que la série de grands trous $3\underline{1}$, de diamètre $D1$, est obtenue
 à l'aide du foret $4\underline{1}$ dont l'axe se situe successivement aux
 points dont les coordonnées sont $(X1, Y2)$, $(X1, Y3)$,,
 $(X2, Y1)$, $(X2, Y2)$, $(X3, Y1)$, $(X3, Y2)$,, où
 5 $X2-X1=X3-X2=..... = Y2-Y1=Y3-Y2=Y4-Y3= = D1$. Après
 avoir foré les grands trous $3\underline{1}$, on passe aux trous moyens $3\underline{m}$
 de diamètre $D2$ dont chacun se situe entre les trous $3\underline{1}$ et
 tangentielllement à ceux-ci. Cette deuxième série de perçage
 est effectuée à l'aide de l'outil $4\underline{m}$. Finalement, c'est
 10 l'outil de perçage $4\underline{n}$ qui est utilisé pour forer les petits
 trous $3\underline{n}$, dans la zone délimitée par le bord $2\underline{a}$ de la cavité
 imaginaire 2 et les groupes des trous $3\underline{1}$ et $3\underline{m}$ les plus
 rapprochés du bord $2\underline{a}$.

Dans ce cas, les coordonnées de points successifs
 15 définissant le bord $2\underline{a}$ peuvent être enregistrées dans un
 support de mémoire tel qu'une bande perforée. Les centres
 des trous de grand, de moyen et de petit diamètre $3\underline{1}'$, $3\underline{m}'$
 et $3\underline{n}'$, les plus proches du bord $2\underline{a}$, sont positionnés de
 telle manière que les trous soient relativement équidistants
 20 du bord $2\underline{a}$, c'est-à-dire qu'il soient écartés de ce bord
 d'une distance $w\underline{1}$ compatible avec l'expression $w_0 \leq w \leq w_1$ où w_0
 et w_1 sont des valeurs définies.

Comme le montre la figure 4, chaque trou $3\underline{1}$, $3\underline{m}$ et $3\underline{n}$
 est percé à une profondeur se situant à une distance ΔZ
 25 constante du contour $2\underline{b}$ de la cavité. Ainsi, les coordonnées
 des points successifs définissant le contour de principe $2\underline{b}$
 sont programmées et enregistrées dans un élément de mémoire
 tel qu'une bande perforée. L'outil de perçage $4\underline{1}$ ($4\underline{m}$, $4\underline{n}$)
 est avancé jusqu'à ce que son extrémité atteigne une
 30 position dans laquelle la distance minimale des points $(X_i,$
 $Y_i, Z_i)$ par rapport à la surface du contour $2\underline{b}$, dans le sens
 de l'axe Z , atteigne une valeur prédéterminée de ΔZ .

Les figures 5 à 7 représentent un dispositif conçu pour
 mettre en pratique la méthode de la présente invention.
 35 Comme le montre la figure 5, le dispositif comporte un bâti
 10 dont la surface horizontale porte les tables croisées 11
 et 12. La table supérieure 12 est équipée d'une cuve de
 travail 13, solidaire de la table dans laquelle est fixée et

positionnée la pièce 1. La table 11 est commandée par un moteur 11a qui déplace la cuve 13 et, par conséquent, la pièce 1, dans le sens de l'axe Y. La table 12 est commandée par un moteur 12a qui déplace la cuve et, par conséquent, la

5 pièce 1, dans le sens de l'axe X.

Le dispositif comporte également un montant vertical fixé au bâti 10 et contenant la vis-mère 14 qui est orientée dans le sens de l'axe Z. La vis-mère commande le chariot 15 équipé de la tourelle porte-outil 16. Elle est commandée par le moteur 17 et impartit un mouvement vertical au porte-

10 outil 16. L'ensemble du chariot 15 et du porte-outil 16 est équilibré par un mécanisme constitué par le contrepoids 18, le câble métallique 19 et la poulie 20.

Le porte-outil 16 est une tourelle capable de tourner sur le chariot 15, sous l'impulsion du moteur 21 représenté

15 en pointillé. Comme le montre la figure 2, la tourelle 16 porte un certain nombre de forets de diamètres différents, 4l, 4m, 4n, 4p, ainsi que les électrodes d'électro-érosion 5l, 5m, 5n. Chaque mandrin de perçage de la tourelle est associé à un pignon conique 22. Lorsqu'un outil arrive

20 en position de travail, sous l'impulsion du moteur 21, le pignon conique correspondant s'engrène avec son homologue 23 monté sur l'arbre 24. Cet arbre 24 est commandé par le moteur 25, par l'intermédiaire des pignons coniques 26 et 27. Sa rotation met en mouvement le pignon 22 et, par

25 conséquent, le foret correspondant.

La figure 7 montre que chaque électrode d'érosion 5l, 5m, 5n, est conçue pour se monter sur l'un des postes de la tourelle 16, par l'intermédiaire d'un cône conducteur 29, isolé électriquement de la masse de la machine par l'iso-

30 lateur 28. Le cône 29 est relié par un câble 30 à un disque 31, lui-même monté sur une tige de piston 32 dont le piston se déplace dans le cylindre 33. Tous ces éléments sont électriquement reliés par le câble 34a à l'une des bornes du générateur de courant d'érosion 35 (Fig.5). L'autre borne du

35 générateur 35 est électriquement reliée à la pièce 1, par l'intermédiaire du câble 34b. Un fluide sous pression, débité par le groupe hydraulique 36, par l'intermédiaire du

distributeur 37, pénètre dans le vérin 33 pour amener la tige de piston en contact électrique avec le disque conducteur 31 et envoyer ainsi le courant d'érosion à l'électrode 5l (5m, 5n), la pièce 1 étant, par ailleurs, 5
reliée au générateur 35.

L'électrode d'érosion 5l (5m, 5n) comporte un alésage axial 5a qui débouche sur la surface travaillante 5b et qui est alimenté en fluide par une embouchure conique 38. Cette embouchure s'applique sur le cône mâle d'un conduit 39 qui 10
fait partie intégrante du tiroir 40, mobile à l'intérieur du cylindre 41. Ce dernier est, en fait, un alésage du montant 15. Une alimentation en fluide s'effectue donc à travers le tiroir 40 et la tubulure 42. Le fluide sous pression venant du groupe 36 est envoyé dans le cylindre 41 à travers la 15
vanne 42. Il pousse le cône mâle 39 du tiroir 40 dans l'embouchure conique 38 et fait ainsi communiquer la tubulure 42 avec l'alésage axial de l'électrode 5l (5m, 5n). Un courant de fluide d'usinage est alors fourni par un groupe d'irrigation, il traverse la tubulure 42 et arrive dans 20
l'alésage 5a de l'électrode d'usinage.

La figure 5 montre le groupe d'irrigation du fluide d'électroérosion. Il comporte un réservoir 45 vers lequel revient le fluide provenant de la cuve d'érosion 13. Ce retour s'effectue par le collecteur 46, la vanne 47 et la 25
canalisation 48. Le fluide contenu dans le réservoir 45 est repris par la pompe 49, envoyé dans le filtre 50 puis dans la canalisation 51, la vanne 52 et la cuve d'érosion 13.

La pièce 1 est représentée solidement bridée sur la table conductrice 53, électriquement liée au générateur de courant d'érosion 35 par le câble 34b. Les moteurs 11a, 12a, 20, 21 30
et 25, sont asservis au système de commande numérique 54.

Pendant le fonctionnement de la machine représentée aux figure 5 à 7, un jeu prédéterminé de forets 4l, 4m, 4n, 35
..... 4p et un jeu prédéterminé d'électrodes 5l, 5m, sont montés sur la tourelle 16 et une pièce 1 est fermement bridée sur la table 53. Un ensemble de bandes perforées ou d'autres supports de mémoire, préparés par un système CAD ou

CAM, est utilisé pour commander le système numérique 54 et, par son intermédiaire, les moteurs 11a, 12a, 20, 21 et 25.

Par exemple, le moteur 21 du sélecteur d'outil intervient en premier pour mettre en service un foret 41 de fort diamètre. Ce foret arrive au poste de travail où il est positionné dans le sens vertical pour travailler de haut en bas et il est amené à l'aplomb de la pièce 1, montée sur la table 53. Les moteurs 11a et 12a, des axes X et Y, interviennent alors pour positionner la pièce par rapport au foret et celui-ci peut descendre pour percer l'un des trous de grand diamètre. Pour ce faire, le moteur 14 tourne dans le sens qu'il faut pour faire tourner le foret 41 et le moteur 17 tourne pour déplacer le chariot 15 et la tourelle 16, verticalement de haut en bas, afin d'impartir au foret 41 une avance de perçage par rapport à la pièce 1. Le chariot 15 descend jusqu'à la profondeur programmée après quoi le mouvement du moteur 17 est inversé et le foret 41 est ramené vers le haut, en position initiale. Le système numérique adresse alors aux moteurs 11a et 11b un ordre programmé pour déplacer la pièce 1 afin d'amener l'axe du foret à l'aplomb de la position de perçage d'un nouveau trou. Le moteur 17 est remis en marche pour faire avancer le foret 41 et continuer cette avance jusqu'à ce que la profondeur de perçage programmée soit atteinte. De cette manière, une série programmée de trous est percée dans la pièce, à l'intérieur de la zone d'usinage définie par les limites 2a et 2b. Après achèvement de cet ébauchage par foret de grand diamètre 41, le moteur 21 reçoit un nouvel ordre du système numérique 54 pour faire évoluer la tourelle 16. Celle-ci tourne pour amener en position de travail l'outil 4m de diamètre intermédiaire. Ce foret est amené à l'aplomb de la pièce 1 et un nouveau programme de perçage de trous de diamètre moyen se déroule. Les cycles de perçage de trous de diamètres différents se suivent et usinent la pièce avec un fort taux d'enlèvement de métal. Il en résulte qu'il ne restera qu'une quantité réduite de matière à enlever par électroérosion dans la région de la pièce 1 destinée à former la cavité 2.

Après le perçage des séries de trous, le système numérique 54 intervient pour que le moteur 21 et les moteurs 11a et 12a amènent en position de travail l'électrode 5 dont la forme est complémentaire de celle à donner à la cavité 2 de la pièce 1. Cette cavité a alors été ébauchée par les différents cycles de perçage que nous venons de décrire. L'électrode-outil 5 est positionnée de telle manière que sa surface travaillante soit parallèle au contour imaginaire 2b. Le moteur 17 intervient alors pour faire plonger 10 l'électrode-outil 5 dans la cuve d'érosion 13 et pour amener l'électrode 5 dans une position telle, par rapport à la pièce 1, que le processus d'électroérosion puisse avoir lieu. Les vannes 37 et 42 sont ouvertes pour admettre le fluide sous pression dans les vérins 33 et 41 ce qui, d'une 15 part, amène le piston 32 en contact électrique avec le disque conducteur 31 et, d'autre part, opère la jonction entre l'alésage 5a de l'électrode 5 et la canalisation 43 d'adduction de fluide d'érosion. La pompe 49 se met en marche pour envoyer le liquide d'érosion dans l'alésage 5a 20 de l'électrode 5 et, de là, dans la cuve 13, et pour le faire circuler entre cette électrode et la cuve d'érosion 45, par la canalisation 48, le filtre 50 et le canal 51. Le générateur 35 de courant d'érosion est mis en service et établit une tension d'usinage entre l'électrode-outil 5 et 25 la pièce 1, c'est-à-dire entre les deux surfaces qui délimitent l'intervalle d'érosion. L'électrode-outil 5 continue à avancer, ce qui permet à une succession de décharges électriques, espacées dans le temps, d'éclater à travers l'intervalle d'érosion et d'enlever de la matière de telles 30 portions de la pièce qui sont directement opposées à la face active 5b de l'électrode-outil 5 et sont, de ce fait, soumises aux décharges électriques. Il en résulte que les portions de matière de la pièce qui subsistent après l'usinage mécanique initial de la pièce 1, et séparant entre eux 35 les trous percés par cet usinage, sont progressivement enlevées par usinage électrique. La tourelle 16 poursuit son

avance en direction de la pièce jusqu'à ce que l'électrode-outil 5 ait atteint une profondeur programmée et complète la mise en forme voulue de la cavité 2 dans la pièce 1.

Pendant la phase d'électroérosion, on utilisera, de 5 préférence, plusieurs électrodes-outils semblables. Ainsi, une électrode d'ébauchage 5_l est utilisée d'abord pour générer une approximation grossière de la cavité 2 avec un taux d'enlèvement de matière relativement élevé (par exemple 30 grammes/s dans l'acier), en suivant la procédure décrite 10 ci-dessus. L'électrode d'ébauchage est alors remplacée par une électrode de finition 5_m à l'aide de laquelle la cavité précédemment ébauchée sera amenée à sa forme définitive avec un taux d'enlèvement de matière relativement faible (par exemple 0,5 gramme/s dans l'acier). Ainsi, les contours 2_a 15 et 2_b de la cavité seront reproduits non seulement avec un très haut degré de précision mais encore avec un état de surface amélioré. Une opération de semi-finition peut également intervenir en utilisant une électrode 5_n et se situera alors entre la phase d'ébauchage et celle de finition.

Revendications.

1. Procédé pour former une cavité d'un contour tridimensionnel désiré dans une pièce, comprenant les mesures de :

5

a/. forer mécaniquement une multiplicité de trous dans ladite pièce substantiellement partout mais à l'intérieur d'une région tridimensionnelle qui est destinée à constituer la cavité et est limitée par une périphérie programmée correspondant audit contour tridimensionnel désiré, de sorte que seulement un minimum de matière est laissé non usiné dans ladite pièce à l'intérieur de ladite région ; et ensuite

b/. usiner par électro-érosion ladite matière minimale laissée non usinée parmi les trous et dans ladite zone programmée avec au moins une électrode-outil d'usinage électrique ayant une surface d'usinage qui est complémentaire en configuration avec ledit contour désiré et est placée pour ce trou et en parallèle avec ladite périphérie programmée en:

20

b1/. faisant passer un courant d'usinage électrique à travers l'intervalle d'usinage entre ladite surface d'usinage et ladite zone en la présence d'un liquide d'usinage électrique dans lesdits trous et ledit intervalle, et

25

b2/. faire avancer ladite électrode-outil dans un mouvement relatif dans ladite pièce de travail, tout en maintenant ledit parallélisme et en maintenant ledit espacement d'intervalle d'usinage substantiellement constant jusqu'à ce que ladite surface d'usinage atteigne une position espacée par ledit espacement par rapport à ladite périphérie programmée.

30

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que dans la mesure a lesdits trous sont forés respectivement à des profondeurs individuellement prédéterminées telles qu'une périphérie définie par les régions de plancher desdits

35

trous soit conforme à la périphérie programmée et en ce qu'ils sont substantiellement également espacés de celle-ci.

5 3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'au moins la plupart des trous de la multiplicité sont formés de manière à s'étendre substantiellement parallèles les uns aux autres.

10 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits trous multiples comprennent une pluralité de trous intersectant obliquement lesdits trous parallèles, la mesure b comprenant en outre la mesure d'inonder par ledit liquide d'usinage les trous obliques pour créer un
15 flux dynamique dudit liquide d'usinage à travers ledit intervalle d'usinage.

5. Procédé selon l'une des revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que la mesure a est exécutée avec une multi-
20 plicité d'outils de perçage ayant des dimensions d'outils différentes pour produire les séries correspondantes de trous différents en diamètre.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce
25 que la mesure b consiste à forer ladite pluralité de jeux de trous successivement dans ladite région.

7. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce
30 que lesdits trous parallèles sont orientés dans une direction substantiellement la même que la direction dans laquelle au moins l'une des électrodes-outils est avancée dans la mesure b2.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que
35 lesdits trous, au moins dans un jeu du plus grand diamètre de trous sont forés dans ladite région avec leurs centres équidistants les uns des autres et lesdits trous au moins dans un autre jeu sont forés dans les interstices parmi

lesdits trous du plus grand diamètre de trous.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'un autre jeu de trous ayant un diamètre de trou le plus petit sont compris dans ladite multiplicité de trous et sont forés au moins dans une zone de ladite région qui est plus proche de ladite périphérie programmée.

10. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'au moins une électrode-outil comprend une pluralité d'électrodes comprenant des électrodes d'ébauchage et de finition en ce que dans la mesure b au moins une portion substantielle de ladite matière laissée non usinée restant parmi lesdits trous multiples est enlevée par électro-érosion par ladite électrode d'ébauchage et au moins une portion de ladite matière non usinée restant entre ladite périphérie définie par les régions de plancher desdits trous et ladite périphérie programmée est enlevée par électro-érosion par ladite électrode de finition.

20

11. Appareil pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend :

- 25 - un chariot-outil pour porter au moins un outil de forage et au moins une électrode-outil d'usinage électrique ;
- des moyens de commande ;
- 30 - des moyens actionnables en réponse à des signaux de commande à partir desdits moyens de commande pour entraîner ledit chariot-outil pour amener sélectivement ledit outil de forage, pour exécuter la mesure a, dans une relation de forage avec ledit électrode-outil, pour exécuter la mesure b à la suite de la mesure a, dans une relation
- 35 d'usinage électrique avec ladite pièce, respectivement;
- des moyens pour faire tourner ledit outil de forage dans la mesure a ;

- des moyens pour fournir ledit liquide d'usinage électrique dans lesdits trous et ledit intervalle d'usinage dans la mesure b;
- 5 - des moyens actionnables sélectivement dans la mesure b pour fournir ledit courant d'usinage électrique entre ladite électrode-outil et ladite pièce; et
- 10 - des moyens pour faire avancer ledit outil de forage dans la mesure a et ladite électrode-outil dans la mesure b dans ladite pièce pour forer chacun desdits multiples trous dans la mesure a et pour usiner par électro-érosion ladite matière laissée non usinée dans la mesure b, respectivement .
- 15
12. Pièce obtenue par la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 10.

FIG. 1A

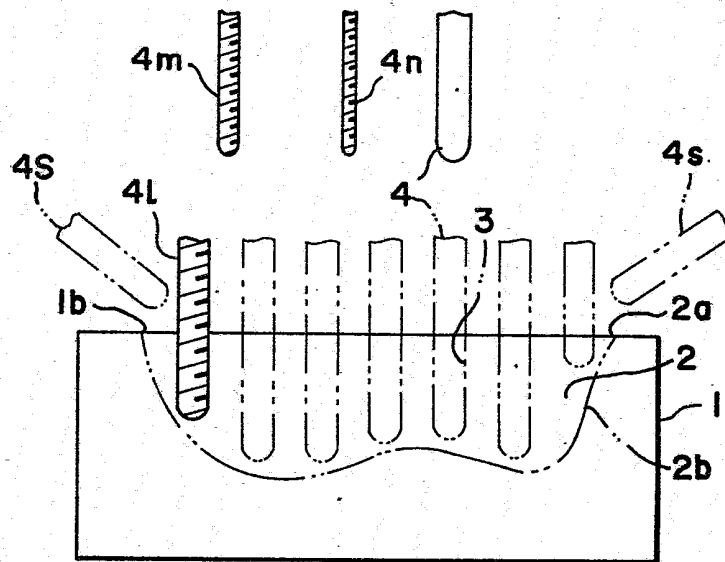


FIG. 1B

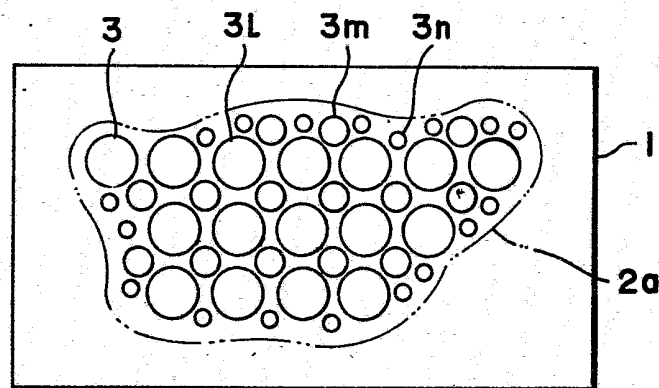


FIG. 4A

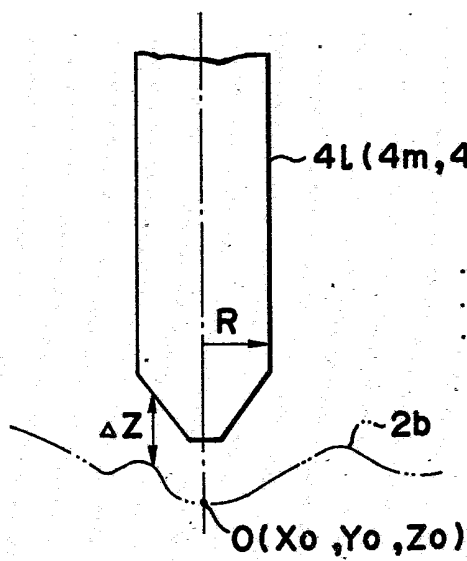


FIG. 4B

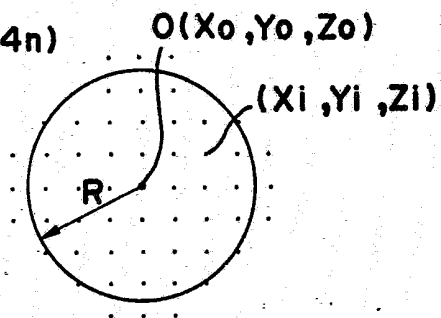


FIG. 6

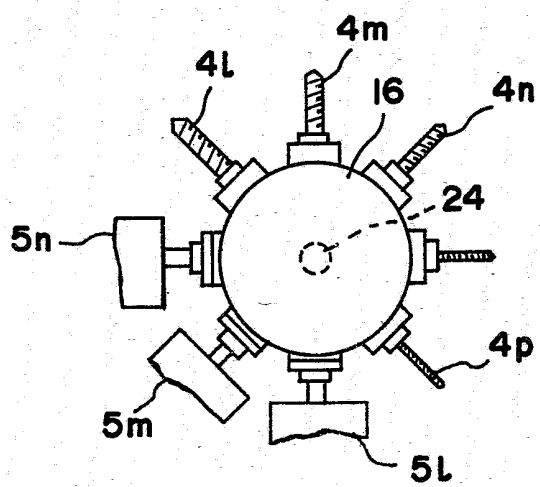


FIG. 5

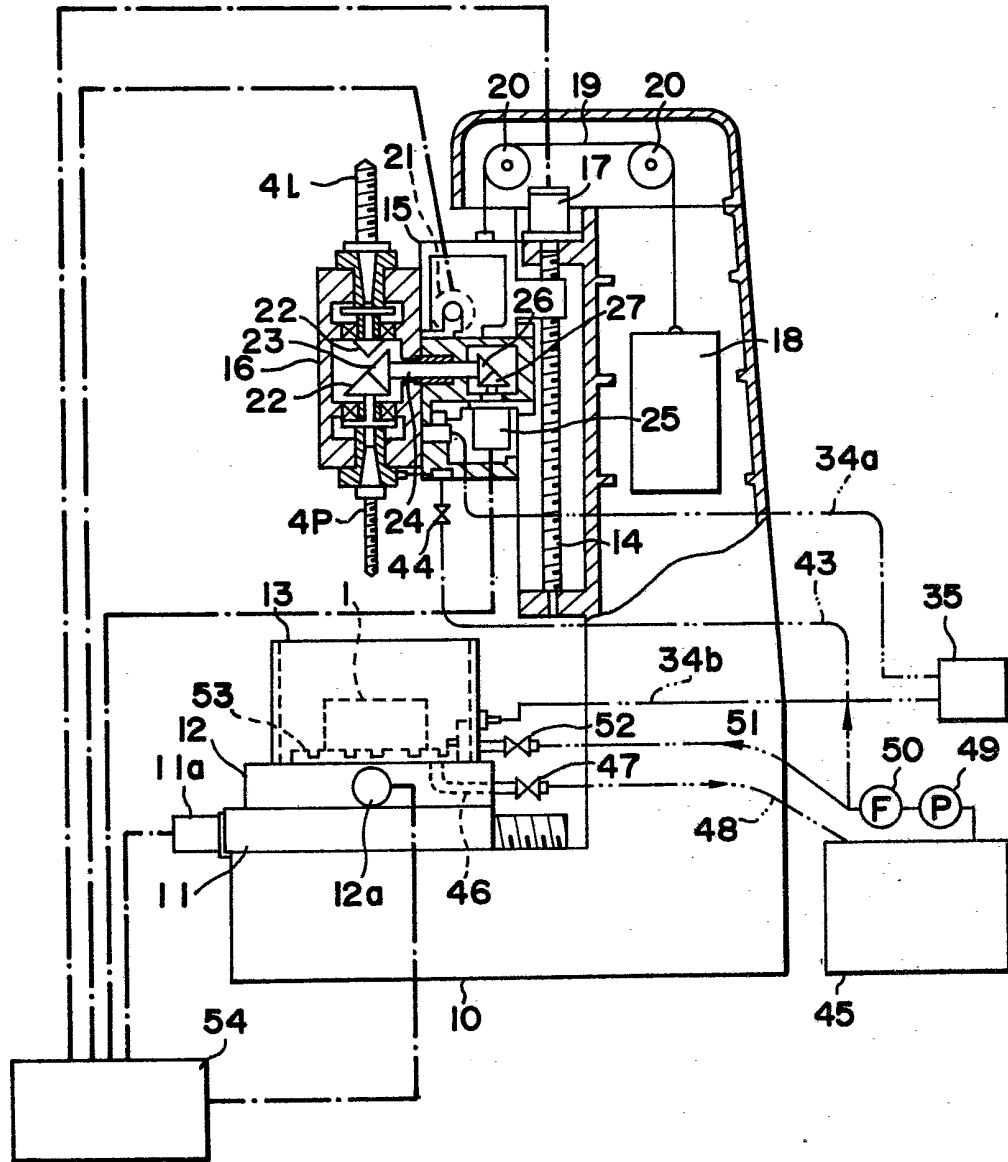


FIG. 7

