

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 81 03640

⑤④ Procédé et appareil d'usinage par électro-érosion à coupe par fil.

⑤① Classification internationale (Int. Cl. ³). **B 23 P 1/16.**

⑫② Date de dépôt..... 24 février 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : Japon, 25 février 1980, n°s 55-23.062 et 55-23.063.

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 35 du 28-8-1981.

⑦① Déposant : Société dite : INOUE-JAPAX RESEARCH INCORPORATED, résidant au Japon.

⑦② Invention de : Kiyoshi Inoue.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : André Netter, conseil en brevets d'invention,
40, rue Vignon, 75009 Paris.

L'invention concerne un procédé et un appareil pour couper ou usiner par électro-érosion au moyen d'un fil, une pièce conductrice de l'électricité, dans le but d'y conformer un contour souhaité, procédé et appareil

5 dans lesquels un milieu d'eau est fourni en continu dans un intervalle d'usinage défini entre la pièce et un fil-électrode pontant sous tension mécanique des côtés de fourniture ou alimentation et de reprise, et déplacé axialement en continu de manière à circuler entre une paire

10 d'éléments de guidage d'usinage tout en passant sur la pièce. Des impulsions électriques successives sont appliquées entre le fil-électrode circulant et la pièce dans l'intervalle d'usinage balayé par le milieu aqueux pour produire des décharges électriques espacées dans le

15 temps à travers le milieu d'eau, enlevant ainsi de la matière à partir de la pièce par électro-érosion. Pendant que l'enlèvement de matière a lieu, la pièce est déplacée par rapport au fil-électrode circulant, transversalement par rapport à l'axe de ladite électrode, selon un trajet prédéterminé pour conformer le contour

20 souhaité dans la pièce. L'invention fournit particulièrement une amélioration du procédé d'électro-érosion à coupe par fil, et de l'appareil, du type décrit.

Dans la technique de coupe par fil à électro-érosion définie ci-dessus, on utilise couramment un mince

25 fil continu ou un filament-électrode dont l'épaisseur est aussi réduite que 0,005 à 0,5 mm. En outre, un intervalle extrêmement petit doit être formé entre la pièce et le fil-électrode circulant. Cette condition impose

30 inévitablement une limitation affectant la régularité que l'on recherche et le passage suffisant du milieu aqueux au travers de la zone d'usinage. Ainsi, seule une petite fraction du milieu aqueux fourni au domaine de la pièce qui est juxtaposée au fil-électrode circulant

35 pénètre effectivement dans l'intervalle d'usinage et circule au travers de celui-ci à une vitesse de circulation limitée. C'est pourquoi des difficultés apparaissent en ce qui concerne l'enlèvement régulier des copeaux d'usi-

nage et des gaz produits dans les zones de décharge. Il en résulte que des arcs et des courts-circuits ont tendance à se développer entre la pièce et le fil-électrode, ce qui perturbe la progression de la coupe, provoque souvent la rupture du fil-électrode et affecte la stabilité de coupe.

C'est en conséquence un but important de l'invention de fournir un procédé amélioré pour couper une pièce conductrice de l'électricité au moyen d'un fil, par électro-érosion, de la manière décrite, ledit procédé permettant d'usiner la pièce avec une efficacité et une stabilité accrues, et avec une tendance moindre à la rupture du fil.

Un autre but de l'invention est de fournir un appareil nouveau de coupe par fil à électro-érosion propre à mettre en œuvre le procédé amélioré.

D'autres buts et avantages de l'invention apparaîtront dans la description qui suit .

L'invention concerne un procédé de coupe d'une pièce conductrice de l'électricité au moyen d'un fil, par électro-érosion, pour conformer dans celle-ci un contour souhaité, procédé dans lequel un milieu aqueux est fourni en continu dans un intervalle d'usinage défini entre la pièce et un fil-électrode, ponté sous tension entre des côtés de fourniture et de reprise et déplacé axialement en continu de manière à circuler entre une paire d'éléments de guidage d'usinage tout en traversant la pièce, dans lequel des impulsions électriques en succession sont appliquées entre le fil-électrode circulant et la pièce au travers de l'intervalle d'usinage noyé dans le milieu aqueux pour produire des décharges électriques espacées dans le temps à travers le milieu aqueux, enlevant ainsi de la matière par électro-érosion de la pièce, et dans lequel la pièce est déplacée par rapport au fil-électrode circulant, transversalement par rapport à l'axe de ladite électrode, selon un trajet prédéterminé, pour conformer le contour souhaité dans la pièce, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend

les mesures consistant à commander la résistivité spécifique du milieu aqueux pour qu'elle se situe dans une plage comprise entre 10^2 et 10^5 ohms-cm, et à introduire des particules abrasives dans le milieu aqueux fourni à
5 l'intervalle d'usinage.

Selon une autre caractéristique importante de l'invention, une vibration, dont la fréquence est comprise entre 100 hertz et 1 megahertz, de préférence pas inférieure à 1 KHz, et avec une amplitude comprise entre
10 1 et 50 microns, de préférence pas supérieure à 10 microns, est appliquée en une zone intermédiaire entre les éléments de guidage d'usinage, au fil-électrode circulant, dans une direction transversale à son axe, de sorte que le fil-électrode circulant acquiert un mouvement oscillatoire ondulant le long de l'axe avec un nombre de
15 noeuds et ventres ou boucles supérieur à deux, l'amplitude étant au maximum de dimension inférieure à celle de l'intervalle d'usinage dans ladite direction.

La vibration peut être communiquée au fil-électrode de circulant en disposant un transducteur électromécanique excité par une alimentation à énergie haute fréquence et disposé en relation de contact avec une étendue du fil-électrode supporté entre les éléments de guidage. Une
20 paire de tels transducteurs peuvent être disposés de part et d'autre de la pièce de sorte que les deux vibrations, présentant de préférence des fréquences ou modes différents, sont superposées l'une à l'autre lorsqu'appliquées au fil-électrode circulant. Le transducteur électromécanique ou chacun des transducteurs électromécaniques peut
25 être sous la forme d'un disque et le fil-électrode peut être introduit au travers du disque dans la zone d'un centre de celui-ci, dans la direction de son épaisseur.

L'invention fournit aussi un appareil d'électro-érosion à coupe par fil d'une pièce conductrice de l'électricité pour conformer un contour souhaité dans celle-ci,
35 appareil qui comprend des moyens pour fournir en continu un milieu aqueux dans un intervalle d'usinage défini entre la pièce et un fil-électrode supporté sous tension

entre des côtés d'alimentation et de reprise et déplacé axialement en continu pour circuler entre une paire d'éléments de guidage d'usinage tout en se déplaçant le long de la pièce, des moyens de fourniture d'énergie pour appliquer des impulsions électriques en succession à travers de l'intervalle d'usinage balayé par le milieu aqueux, entre la pièce et le fil-électrode, pour produire des décharges électriques espacées dans le temps à travers ledit milieu, enlevant ainsi par électro-érosion de la matière de la pièce, et des moyens d'avance de contour, propres à déplacer la pièce par rapport au fil-électrode circulant, transversalement à l'axe de celui-ci, selon un trajet prédéterminé, pour conformer le contour dans la pièce, ledit appareil étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'échange d'ions pour commander la résistivité spécifique du milieu aqueux destiné à être fourni à l'intervalle d'usinage par lesdits moyens d'alimentation, afin qu'elle soit comprise entre 10^2 et 10^5 ohms-cm, et des moyens pour introduire des particules abrasives dans le milieu aqueux à résistivité commandée amené à l'intervalle d'usinage.

Selon une autre caractéristique de l'appareil selon l'invention, des moyens sont prévus pour communiquer une vibration ayant une fréquence comprise entre 100 Hz et 1 MHz, de préférence pas inférieure à 1 KHz, et ayant une amplitude comprise entre 1 et 50 microns, de préférence pas supérieure à 10 microns, en une zone intermédiaire entre les éléments de guidage d'usinage, au fil-électrode circulant, dans une direction transversale à l'axe de celui-ci, de sorte que le fil-électrode circulant acquiert un mouvement oscillatoire ondulant le long de son axe qui présente plus de deux noeuds et ventres ou boucles, et dont l'amplitude est inférieure à la dimension de l'intervalle d'usinage dans ladite direction.

Les moyens vibratoires peuvent comprendre un transducteur électromécanique excité par une source d'énergie haute fréquence et disposé en relation de con-

tact avec une étendue du fil-électrode supporté entre les éléments de guidage. Deux tels transducteurs peuvent être disposés l'un d'un côté de la pièce, l'autre de l'autre côté de la pièce, de sorte que les deux vibrations, de
5 préférence présentant des fréquences ou modes différents, sont superposées l'une à l'autre lorsqu'elles sont appliquées au fil-électrode circulant. Les deux vibrations créent en fait dans le fil circulant un battement ou les vibrations périodiques en amplitude d'une onde qui est
10 la superposition des deux ondes harmoniques simples correspondantes des différentes fréquences. Le transducteur électromécanique ou chacun des deux transducteurs électromécaniques peut avoir la forme d'un disque et le fil-électrode peut être introduit à travers le disque dans
15 la zone d'un centre de celui-ci, dans la direction de son épaisseur.

Des formes de réalisation de l'invention seront maintenant décrites, à titre d'exemple, en liaison avec le dessin annexé, dans lequel :

20 - *la figure 1* est une vue schématique d'une installation d'électro-érosion à fil de coupe selon l'invention ;

- *la figure 2* représente une installation modifiée d'électro-érosion à fil de coupe comprenant une
25 paire de transducteurs électromécaniques à disques espacés propres à communiquer des vibrations haute fréquence au fil-électrode circulant, selon l'invention ;

- *les figures 3A et 3B* sont des vues perspectives de deux formes différentes de passage à fil conformé
30 dans le transducteur à disque espacé représenté à la figure 2 ;

- *la figure 4* est un graphique montrant l'accroissement d'efficacité d'usinage rapporté à la distance entre le transducteur et la pièce ; et

35 - *la figure 5* représente une autre disposition de transducteur électromécanique selon l'invention.

On se réfère à la figure 1. Une installation ou appareil d'électro-érosion à fil de coupe selon l'inven-

tion comprend un fil-électrode 1 en cuivre ou laiton par exemple, ayant un diamètre de 0,005 à 0,5 mm, de préférence pas supérieur à 0,1 mm. Le fil-électrode 1 est avancé axialement à partir de son côté d'alimentation 5 représenté sous la forme d'une bobine d'alimentation 2 jusqu'à son côté de reprise ou réception représenté sous la forme d'une bobine de réception 3, en continu, à travers une zone de coupe définie entre une paire d'éléments 4 et 5 de guidage d'usinage. Une pièce 6 est disposée 10 dans la zone de coupe et elle est traversée par une portion rectiligne du fil-électrode 1 mis en pont sous ferme tension mécanique et circulant en continu entre les éléments de guidage d'usinage 4 et 5. D'autres moyens de guidage 7 et 8 sont prévus sur le trajet du fil-électrode 15 pour changer la direction d'avance du fil-électrode 1 à partir du côté de fourniture 2, jusqu'à la zone de coupe, et à partir de cette dernière jusqu'au côté de reprise 3, respectivement. Le déplacement axial du fil-électrode 1 à une vitesse appropriée et sous une tension appropriée 20 peut être réalisé par des moyens d'entraînement disposés entre le guide 8 et la bobine de reprise 3, et par des moyens de freinage disposés entre la bobine de fourniture 2 et le guide 7.

Dans la zone de coupe, un mélange de milieu 25 aqueux d'usinage 16 et de particules abrasives 17 est fourni en continu par une buse 9 dans l'intervalle d'usinage G formé entre la pièce 6 et le fil-électrode 1 circulant. Une source 10 d'énergie d'usinage par décharges électriques est connectée électriquement d'une part à 30 la pièce 6 et d'autre part au fil-électrode 1, au moyen d'une brosse ou balai 11, pour appliquer une succession d'impulsions d'usinage par décharges électriques à travers l'intervalle d'usinage G dans le milieu aqueux, pour enlever par électro-érosion de la matière de la 35 pièce 6. Le milieu aqueux 16 doit, pour les buts de l'invention, avoir une résistivité spécifique comprise entre 10^2 et 10^5 ohms-cm.

La pièce à usiner 6 est montée fixe sur une table

de travail 12, et des moyens d'entraînement de contour propres à déplacer la table 6 par rapport au fil-électrode 1 transversalement à l'axe de celui-ci ou dans un plan X-Y, comprennent un premier moteur 13 pour avancer la
5 table 12 selon l'axe des X, et un second moteur 14 pour avancer la table 12 selon l'axe des Y. Une commande numérique 15 est prévue, alimentée en données pour un trajet d'avance de contour prescrit et programmé à l'avance. Les données sont reproduites et les signaux d'entraîne-
10 ment correspondants sont fournis par la commande numérique 15 aux moteurs 13 et 14 pour déplacer la pièce 6 par rapport au fil-électrode 1 selon un trajet prescrit, de sorte qu'un contour souhaité est usiné dans la pièce.

Les particules abrasives 17 doivent, de préférence,
15 être en TiC , TiN , TiB , TiB_2 , $(TiB_2)C$, $(TiB_2)N$, HfC , HfB_2 , $TiCN$, $TiHfC$, B_4C , BN , SiC , Al_2O_3 et/ou SiO_2 , et avoir une dimension particulière de l'ordre des microns, de préférence comprise entre 1 et 100 microns en diamètre, et encore plus favorablement inférieure à 50 microns en
20 diamètre. Ces particules fournies en suspension avec le milieu aqueux 16 sont sollicitées à la pénétration dans l'intervalle d'usinage G où elles agissent pour abraser la surface de contour de la pièce en cours d'érosion par les décharges électriques étant donné qu'elles sont por-
25 tées par le fil-électrode 1 circulant. Ainsi, l'action abrasive mécanique est ajoutée à l'action d'électro-érosion, ce qui provoque un accroissement remarquable de l'enlèvement de matière sur la pièce 6. Les particules abrasives se déplaçant dynamiquement à travers l'in-
30 tervalle d'usinage G agissent aussi pour enlever mécaniquement les copeaux d'usinage et autres produits d'intervalle formés par l'action d'électro-érosion, et en même temps servent de moyens d'espacement entre le fil-électrode 1 circulant et la pièce 7 pour empêcher leur
35 contact direct ou la mise en court-circuit. Il en résulte une augmentation remarquable de l'efficacité de la coupe et du rendement, et une stabilité opératoire ac-

crue, pratiquement sans formation d'arcs, et avec une tendance moindre à la rupture du fil.

En plus ou en option, on prévoit une unité vibratoire 18 comprenant un ensemble 19 de transducteurs électromécaniques excités par une source 20 d'énergie haute fréquence. L'ensemble 19 représenté comprend une partie de corne d'amplification dont la pointe est disposée en relation de contact avec le fil-électrode 1 circulant dans la zone de coupe définie entre les éléments de guidage 4 et 5. Le transducteur 19 est excité par la source d'énergie 20 dont la fréquence n'est pas inférieure à 100 Hz, de préférence pas inférieure à 1 KHz, et jusqu'à 1 MHz, pour communiquer au fil-électrode 1 circulant et tendu entre les moyens de guidage 4 et 5, une vibration dont l'amplitude est de préférence comprise entre 1 et 50 microns, une amplitude comprise entre 1 et 10 microns étant particulièrement préférée. La vibration est communiquée au fil-électrode dans une direction transversale à l'axe de celui-ci, de sorte qu'un mouvement oscillatoire ondulant, présentant un nombre de noeuds et ventres supérieur à deux, est fourni au fil 1 circulant entre les éléments de guidage 4 et 5 placés en des côtés opposés par rapport à la pièce 6. Cette vibration crée une action de pompage extrêmement favorable du mélange de milieu aqueux 16 et de particules abrasives 17, qui peut ainsi être entraîné sur le fil-électrode 1 circulant dans la zone d'usinage G avec un débit accru. Etant donné que le milieu aqueux 16 et les particules abrasives sont ainsi transportés dans la zone d'usinage G avec une régularité accrue, on obtient encore une augmentation de la vitesse d'enlèvement de matière. L'action de pompage sert aussi à évacuer les copeaux d'usinage et autres produits d'intervalle plus régulièrement à partir de la zone d'intervalle G, ce qui assure une progression de l'opération régulière d'usinage.

Le mélange de milieu aqueux et de particules abrasives quittant la pièce 6 avec le fil circulant 1 est

dirigé par un courant de milieu aqueux non souillé provenant d'une buse 21 disposée en dessous de la pièce 6, vers un auget 22. Le mélange avec le milieu aqueux non souillé est introduit dans un séparateur centrifuge 23 où il est séparé en liquide (milieu aqueux) et en particules solides (particules abrasives et copeaux d'usinage). Le liquide est conduit dans un récipient 24 pour un stockage temporaire, puis il est mis en circulation par une pompe 25 dans un conduit 26 conduisant à la buse 9 de fourniture et de distribution. Les particules solides provenant du séparateur centrifuge 23 sont amenées sur une bande 27 transporteuse sans fin sur le trajet duquel est disposé un séparateur magnétique 28 propre à collecter magnétiquement les copeaux d'usinage. Les particules abrasives 17 séparées des copeaux d'usinage continuent à être transportées sur la bande 27 se déplaçant et elles sont rassemblées dans une trémie 29, puis ensuite elles sont conduites à une chambre de mélange 30 prévue dans une partie du conduit 26. Dans la chambre de mélange 30, les particules abrasives 17 non souillées sont ainsi mélangées de manière homogène avec le milieu aqueux 16 non souillé pompé dans le récipient 24, le mélange étant amené par le conduit 26 à la buse 9 pour être fourni à l'intervalle d'usinage G. Dans le récipient 24, ou dans une partie du conduit 26 située en amont de la chambre de mélange 30, est prévue une unité d'échange d'ions (non représentée) pour commander la résistivité électrique spécifique du milieu aqueux 16 pour qu'elle soit comprise entre 10^2 et 10^5 ohms-cm.

EXEMPLE

Un fil-électrode en cuivre de 0,02 mm de diamètre est monté dans une installation globalement du type représenté à la figure 1, et il est déplacé axialement à une vitesse de circulation de 2 m/mn pour la coupe électro-érosive par fil d'une pièce en S55C ayant une épaisseur de 11 mm. Le milieu aqueux est de l'eau de ville traitée par un échangeur d'ions de manière à

présenter une résistivité spécifique de 5×10.000 ohms-cm. Les impulsions d'usinage par électro-érosion ont un temps actif " τ on " de 10 microsecondes, et un temps de coupure " τ off " de 15 microsecondes, avec un courant de crête de 56 ampères. Des particules abrasives en suspension dans le milieu aqueux sont composées de SiC et ont des dimensions granulométriques de 600 mailles. Elles sont mélangées dans une proportion de 15 % en volume avec le milieu aqueux. Une vibration de 35 KHz est appliquée au fil-électrode circulant. Les vitesses d'enlèvement obtenues dans trois cas, à savoir - A) sans particules abrasives et sans vibration du fil, B) avec des particules abrasives, et C) avec les particules abrasives et la vibration du fil sont indiquées dans le tableau suivant :

Cas	Vitesse d'enlèvement
A	0,9 mm/mn
B	1,6
C	2,1

On voit que l'on obtient selon l'invention une augmentation de la vitesse d'enlèvement qui est de deux fois, et même plus. On doit aussi noter que, dans le cas C, la vitesse d'avance de contour peut être augmentée jusqu'à 30 %, comparé au cas B. Il apparaît donc que le temps total d'usinage avec la présente invention est réduit jusqu'à environ la moitié, ou moins, du temps d'usinage selon l'art antérieur.

Au lieu d'une seule unité vibratoire 20 comme représenté, on peut prévoir deux tels vibreurs, chacun de part et d'autre de la pièce 6 ; ils sont de préférence excités avec des fréquences différentes de sorte que deux vibrations résultantes sont superposées l'une à l'autre pour fournir un mouvement oscillatoire ondu-

lant composé présentant dans le fil 1 un nombre de noeuds et ventres supérieur à deux.

La figure 2 représente un dispositif vibratoire modifié pour une installation de coupe par fil à électro-érosion dans laquelle certaines des parties ou éléments semblables à ceux de la figure 1 portent les mêmes chiffres de référence, certains étant omis pour éviter la répétition. Le dispositif vibratoire représenté à la figure 2 fait application d'un ou deux transducteurs 31 et 32 électromécaniques en forme de disques, à la place d'une structure à corne représentée à la figure 1, les transducteurs 31 et 32 étant excités par une source 33 commune d'énergie haute fréquence. Les transducteurs 31 et 32 sont chacun un disque présentant une ouverture centrale 31a (32a) ou une fente 31b (32b), s'étendant à travers leur centre et leur périphérie, comme représenté aux figures 3A et 3B respectivement, qui servent de passage pour le fil-électrode 1 circulant. Quand chacun des disques transducteurs 31 et 32 est excité par la source de puissance haute fréquence 33, une vibration mécanique haute fréquence s'y produit et est communiquée au fil-électrode circulant 1. Etant donné que le transducteur 31, 32 est disposé en relation de contact avec l'étendue de fil 1a entre les éléments de guidage d'usage 4 et 5, un mouvement oscillatoire ondulant se développe dans l'étendue de fil 1a en acquérant la vibration mécanique externe dans une direction transversale à l'axe de l'électrode, de la manière décrite précédemment. Chacun des transducteurs 31 et 32 peut, comme dans l'ensemble 19 de la figure 1, être en quartz, en titanate de lithium, en titanate de baryum, en titanate de zirconium-plomb, ou des transducteurs analogues connus, et il est excité de manière à produire une vibration mécanique haute fréquence dans la direction de son rayon. La forme en disque des vibreurs est particulièrement avantageuse car ils peuvent ainsi être montés à étroite proximité de la pièce 6 et donc de la zone d'usinage.

La figure 4 est un diagramme montrant des résultats expérimentaux et sur lequel l'accroissement de l'efficacité de coupe est porté en ordonnées, la distance de l'emplacement d'un transducteur électromécanique à partir de la pièce 6 étant portée en abscisses. Le diagramme montre qu'une fréquence vibratoire supérieure à 100 KHz est préférée et avantageuse pour atteindre un accroissement de l'efficacité de coupe pour une grande distance, mais une distance plus limitée est préférée en général pour atteindre une plus grande augmentation de l'efficacité de coupe.

Dans une autre forme de réalisation de l'invention représentée à la figure 5, chacun des disques vibreurs 31 et 32 traversé par le fil-électrode circulant 1 est disposé dans une enceinte 34, 35, alimentée avec un mélange déjà décrit du milieu aqueux et de particules abrasives. Chacune des chambres 34 et 35 présente une admission 34a, 35a en communication avec le conduit 26 représenté à la figure 1, et une sortie 34b, 35b disposée à proximité de la zone de travail pour la fourniture du mélange d'eau et de particules abrasives dans l'intervalle d'usinage. Le milieu aqueux dans le mélange sert ainsi efficacement ici à refroidir le corps de vibreur 31, 32, assurant la stabilité opératoire de ces unités.

Ainsi est fourni un procédé et un appareil améliorés pour la coupe électro-érosive par fil d'une pièce conductrice de l'électricité, grâce auxquels est obtenue une augmentation remarquable des performances d'usinage, de l'efficacité et de la stabilité opératoire.

REVENDICATIONS

1. - Procédé d'usinage par électro-érosion à coupe par fil d'une pièce conductrice de l'électricité pour conformer un contour souhaité dans celle-ci, procédé
5 dans lequel un agent d'usinage à base d'eau, ou milieu aqueux, est fourni en continu dans un intervalle d'usinage défini entre la pièce et un fil-électrode continu, supporté sous tension mécanique entre des côtés de four-
10 niture et de reprise, et déplacé axialement en continu de manière à circuler entre une paire d'éléments de guidage d'usinage tout en traversant la pièce, une succession d'impulsions électriques étant appliquée entre le fil-électrode circulant et la pièce à travers l'inter-
valle d'usinage balayé par le milieu aqueux pour produi-
15 re des décharges électriques espacées dans le temps à travers le milieu aqueux, enlevant ainsi par électro-érosion de la matière de la pièce, et la pièce étant déplacée par rapport au fil-électrode circulant trans-
versalement à l'axe de celui-ci selon un chemin de cou-
20 pe prédéterminé pour conformer le contour souhaité dans la pièce, *caractérisé en ce qu'il* comprend les mesures consistant à :

- commander la résistivité spécifique dudit milieu aqueux de façon à ce qu'elle soit comprise entre 10^2 et
25 10^5 ohms-cm ; et
- introduire des particules abrasives dans le milieu aqueux fourni à l'intervalle d'usinage.

2. - Procédé selon la revendication 1, *caractérisé en ce qu'il* comprend en outre la mesure consistant à
30 communiquer une vibration ayant une fréquence comprise entre 100 Hz et 1 MHz au fil-électrode circulant, dans une direction transversale à son axe.

3. - Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, *caractérisé en ce que* les particules abrasives ont une dimension particulière comprise entre 1
35 et 100 microns.

4. - Procédé selon la revendication 2, *caractérisé*

en ce que ladite vibration est communiquée au fil-électrode en disposant, en une position intermédiaire entre lesdits éléments de guidage d'usinage, au moins un transducteur électromécanique à forme de disque et présentant
5 une ouverture au travers de laquelle le fil-électrode circulant est passé, et en ce qu'on excite le transducteur au moyen d'une source de puissance haute fréquence pour produire la vibration dans le transducteur et la propager au fil-électrode circulant.

10 5. - Procédé selon la revendication 2, *caractérisé en ce que* la fréquence n'est pas inférieure à 100 KHz.

6. - Appareil d'usinage par électro-érosion à coupe par fil d'une pièce conductrice de l'électricité pour conformer un contour souhaité dans celle-ci, qui com-
15 prend des moyens pour fournir en continu un agent d'usinage à base d'eau, ou milieu aqueux, dans un intervalle d'usinage défini entre la pièce et un fil-électrode supporté sous tension mécanique entre des côtés de fourniture et de reprise et déplacé axialement en continu
20 pour circuler entre une paire d'éléments de guidage d'usinage tout en traversant la pièce, des moyens de fourniture de puissance pour appliquer des impulsions électriques en succession à travers l'intervalle d'usinage balayé par le milieu aqueux entre la pièce et le
25 fil-électrode pour produire des décharges électriques espacées dans le temps à travers le milieu aqueux, enlevant ainsi par électro-érosion de la matière de la pièce, et des moyens d'avance de contour pour déplacer la pièce par rapport au fil-électrode circulant transversalement à l'axe de celui-ci selon un trajet prédéterminé pour conformer le contour souhaité dans la pièce,
30 *caractérisé en ce qu'il comprend :*

- des moyens d'échange d'ions pour commander la résistivité spécifique du milieu aqueux fourni par lesdits
35 moyens de fourniture à l'intervalle d'usinage, de façon qu'elle ait une valeur comprise entre 10^2 et 10^5 ohms-cm ; et

- des moyens pour introduire des particules abrasives dans ledit milieu aqueux à résistivité commandée, pour fournir ces particules en suspension dans le milieu aqueux à l'intervalle d'usinage.

5 7. - Appareil selon la revendication 6, *caractérisé en ce qu'il* comprend en outre des moyens pour communiquer une vibration ayant une fréquence comprise entre 100 Hz et 1 Mhz au fil-électrode circulant, dans une direction transversale à l'axe de celui-ci.

10 8. - Appareil selon la revendication 6 ou la revendication 7, *caractérisé en ce qu'il* comprend en outre des moyens de recueil pour recevoir le mélange du milieu aqueux et des particules abrasives quittant l'intervalle d'usinage, des premiers moyens de séparation pour sépa-
15 rer le mélange recueilli en un composant liquide et en des composants solides, des seconds moyens séparateurs pour séparer ces composants solides en produits d'usinage provenant de l'intervalle d'usinage et en particules abrasives, des moyens pour guider ledit composant liqui-
20 de vers les moyens d'échange d'ions pour qu'il y soit traité, pour fournir ledit milieu aqueux ayant ladite résistivité spécifique, des moyens de mélange pour introduire les particules abrasives fournies par les seconds moyens séparateurs dans le milieu aqueux fourni à partir
25 des moyens d'échange d'ions, et des moyens de conduits pour guider le mélange de milieu aqueux et de particules abrasives des moyens de mélange jusqu'aux moyens de fourniture.

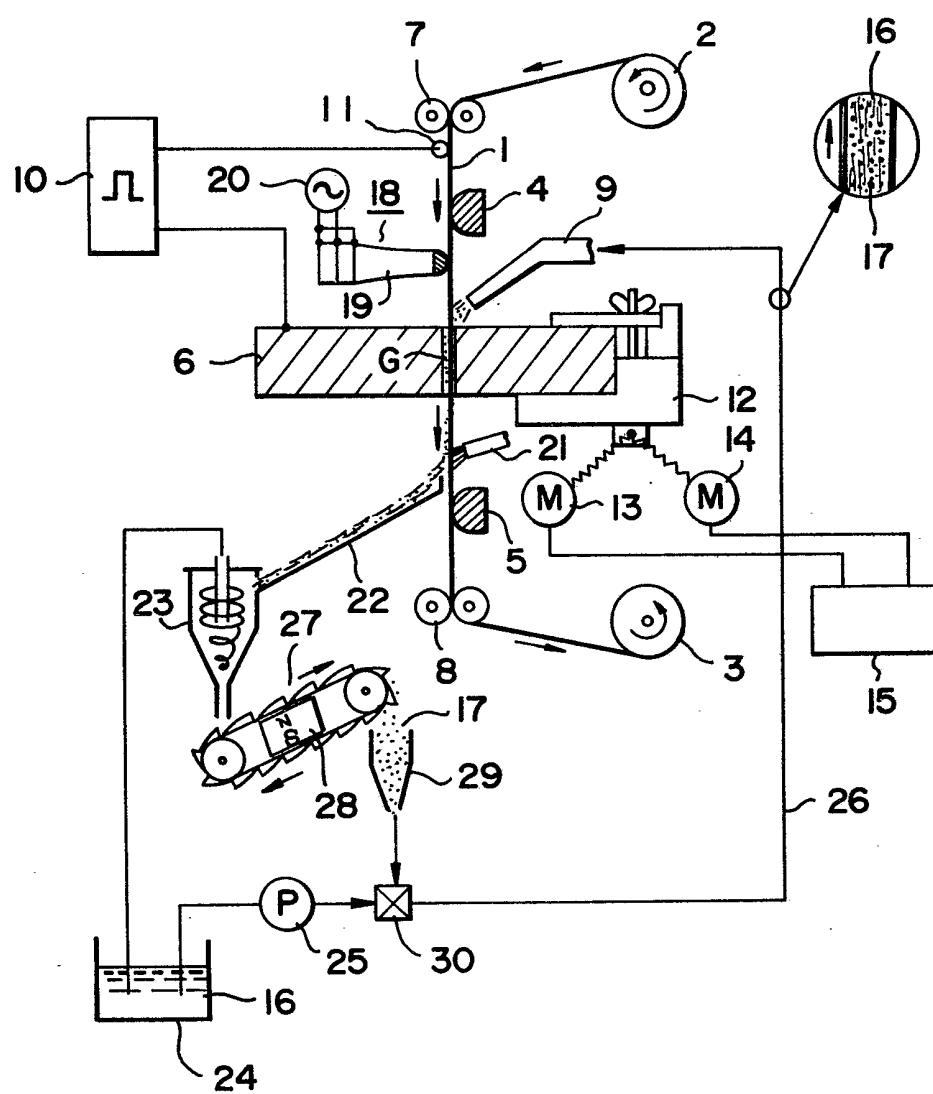
 9. - Appareil selon la revendication 7, *caractérisé*
30 *en ce que* les moyens pour communiquer une vibration comprennent au moins un transducteur électromécanique disposé en une zone intermédiaire entre les éléments de guidage d'usinage et ayant la forme d'un disque présentant une ouverture dans laquelle passe le fil-électrode
35 circulant.

 10. - Appareil selon la revendication 9, *caractérisé en ce que* les moyens de fourniture comprennent une en-

ceinte alimentée en mélange de milieu aqueux et de particules abrasives et propre à recevoir ledit transducteur électromécanique.

°-°-°-°

FIG. 1



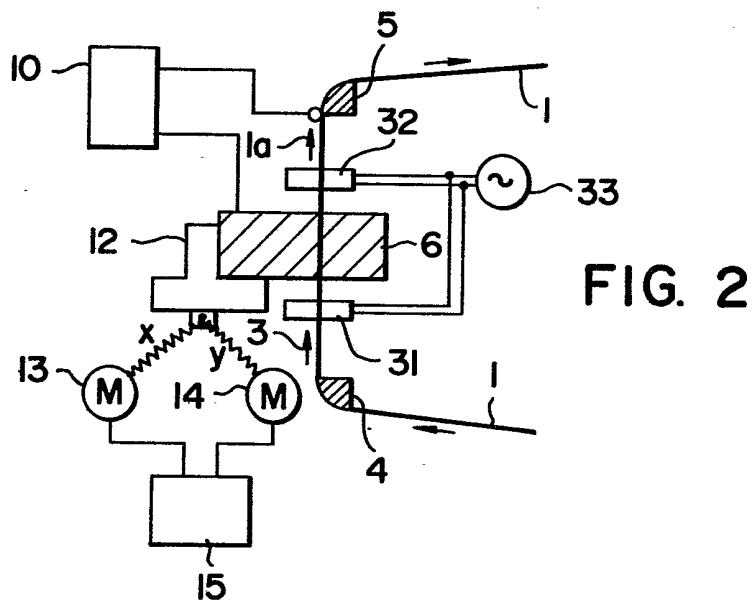
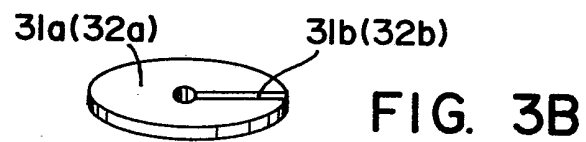
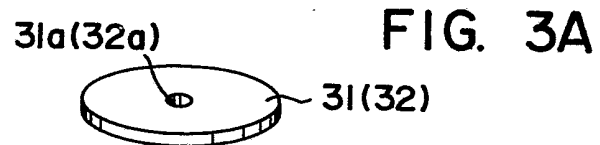


FIG. 5

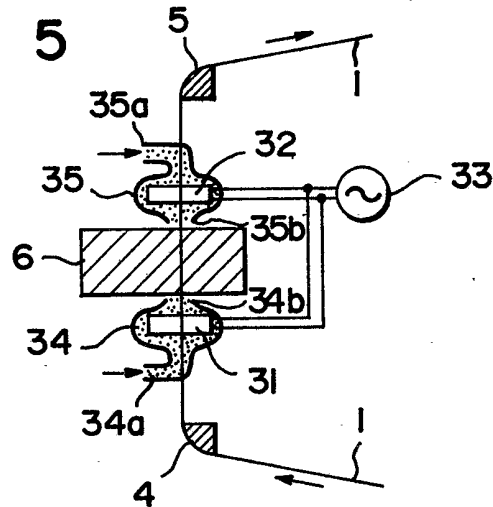


FIG. 4

