RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 473 362**
(A n'utiliser que pour les commandes de reproduction).

A1

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

(21) **N° 81 00337**

(54) **Procédé et appareil d'usinage électrique avec liquide d'usinage interposé entre l'outil et la pièce à usiner.**

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). **B 06 B 3/00; B 01 J 19/10; B 23 P 1/00.**

(22) Date de dépôt..... 9 janvier 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *Japon, 9 janvier 1980, n° 55-459; 18 janvier 1980, n° 55-3583.*

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 29 du 17-7-1981.

(71) Déposant : Société dite : INOUE-JAPAX RESEARCH INC., 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.

2473362

La présente invention concerne de façon générale l'usinage et de façon plus particulière un procédé et un appareil d'usinage.

Tel qu'il est utilisé ici, le terme "usinage" désigne aussi bien un procédé d'enlèvement de matière, tel que creusement, profilage, taille, perçage ou meulage, dans lequel de la matière est enlevée d'une pièce, qu'un procédé d'addition de matière tel que placage, dépôt ou formation, dans lequel de la matière est enlevée d'un liquide d'usinage et ajoutée à la pièce.

L'invention concerne de façon spécifique, bien que non exclusive, un procédé et un appareil d'usinage électrique, comportant les stades et les moyens appropriés pour stabiliser les conditions dans un intervalle d'usinage électrique.

Tel qu'il est utilisé ici, le terme "usinage électrique" désigne principalement l'usinage par décharges électriques, mais il est bien entendu que l'invention s'applique également à toute autre forme d'usinage électrique, tel qu'usinage électrochimique, usinage électrochimique par décharges, et électro-déposition, ainsi que des usinages non électriques ou traditionnels, qui utilisent un procédé d'enlèvement de matière mécanique ou par abrasion.

Dans l'un ou l'autre des procédés d'enlèvement et d'addition électriques, tels qu'ils sont concernés ici, une électrode-outil est juxtaposée à une pièce pour définir un minuscule intervalle d'usinage entre elles en présence d'un liquide ou milieu d'usinage et on fait passer un courant électrique entre l'électrode et la pièce à travers le petit intervalle d'usinage rempli de liquide pour enlever électriquement de la matière de la surface de la pièce ou en ajouter électriquement sur cette surface. Une source de courant d'usinage est prévue pour fournir de préférence un courant électrique à forte densité de courant dans la région de l'intervalle d'usinage de façon que l'enlèvement ou l'addition de matière sur la surface de la pièce puisse s'effectuer en étroite conformité avec la forme de l'électrode-outil. Des moyens sont habituellement prévus pour faire avancer, soit l'électrode-outil, soit la pièce, vers l'autre élément de façon à maintenir pratiquement constant l'intervalle d'usinage au fur et à mesure de l'enlèvement ou de l'addition

de matière sur la surface de la pièce.

On a constaté depuis longtemps que l'usinage électrique d'une pièce conductrice, c'est-à-dire usinage par décharges électriques, usinage électrochimique ou électro-déposition, de portions de pièces juxtaposées à une électrode, se caractérise souvent par une distribution de courant non uniforme au travers de l'intervalle séparant la surface de l'électrode de la surface de la pièce à usiner. Cette distribution de courant non homogène provient, le plus souvent, d'une contamination du fluide d'usinage sous forme d'accumulation ou concentration d'ions, de copeaux d'usinage et d'autres produits d'intervalle, le long de l'une ou de l'autre surface des électrodes. En outre, la distribution non uniforme du courant entre les surfaces peut également être fonction d'effets magnétiques résultant du passage du courant entre l'électrode et la pièce.

Le Brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 3 252 881 attire l'attention sur le fait qu'il est possible de déloger mécaniquement les contaminants ioniques dans un intervalle d'usinage électrochimique en faisant osciller mécaniquement l'électrode pour la rapprocher et l'éloigner de la pièce à usiner à une fréquence sonique relativement basse (par exemple de 10 Hz ou 10 kHz). On obtient également un résultat similaire lorsque, en même temps que l'on fait vibrer mécaniquement l'électrode, on injecte un fluide gazeux dans l'électrolyte ou, en variante, on applique une vibration supersonique à l'électrolyte à l'intérieur de l'électrode. On a découvert que la vibration supersonique pouvait avoir une fréquence comprise entre 10 kHz et 10 MHz et qu'elle doit être produite par un transducteur électronique monté à l'intérieur de l'électrode tubulaire.

On a constaté que la vibration ultrasonique peut être utilisée dans un procédé d'usinage par décharges électriques et dans un procédé d'électro-déposition pour enlever les produits contaminant l'intervalle dans ces procédés. Par exemple, dans un usinage par décharges électriques, on a constaté que la vibration ultrasonique servait à stabiliser les conditions d'usinage et protégeait la pièce et l'électrode des dommages produits par un court-circuit. Dans l'électro-déposition, l'application d'une vibration ultrasonique à

l'électrolyte tend à faire disparaître l'accumulation de bulles d'électrolyte de sorte que l'on peut obtenir sur la surface de la pièce une mince couche de dépôt. Dans ces procédés, il est classique d'impartir une vibration ultrasonique au liquide d'usinage au moyen d'un élément transducteur ultrasonique.

Lorsque la forme de la pièce présente des courbures irrégulières ou implique un alésage ou un encochage profond et constitue ainsi une mise en forme bi - ou tridimensionnelle , on a constaté que l'on ne peut décontaminer uniformément l'intervalle par un élément transducteur s'il est disposé d'une manière telle que proposé ci-dessus. La décontamination satisfaisante, efficace et uniforme de l'intervalle sur toute la zone de travail traitée par l'usinage électrique pose donc un problème dans les systèmes conventionnels de vibrations ultrasoniques.

C'est en conséquence un but de l'invention de procurer un procédé et un appareil d'usinage améliorés grâce auxquels on peut décontaminer la région de l'intervalle d'usinage de manière satisfaisante, efficace et uniforme. Un autre but de l'invention est de procurer un procédé et un appareil d'usinage améliorés grâce auxquels la décontamination de la région des surfaces d'usinage ayant une forme complexe peut être obtenue de manière extrêmement uniforme.

Sous un premier aspect, l'invention procure un procédé dans lequel une pièce à usiner est plongée dans un liquide d'usinage contenu dans une cuve d'usinage et un outil est juxtaposé à la pièce à usiner dans la cuve pour définir entre lui et la pièce une interface d'usinage remplie du liquide d'usinage, le procédé se caractérisant en ce qu'on dispose une multiplicité d'ensembles ultrasoniques dans la cuve de telle manière qu'ils soient espacés l'un de l'autre et disposés pour entourer l'interface en pouvant lui transmettre des ondes, en ce qu'on excite individuellement ces ensembles pour obtenir des vibrations ultrasoniques d'une fréquence supérieure à 0,05 MHz et de préférence non inférieure à 0,1 MHz, et inférieure à 10 MHz et de préférence non supérieure à 2 MHz, et en ce qu'on transmet ces vibrations à la région de l'interface par l'intermédiaire du liquide d'usinage.

Sous un second aspect, l'invention procure un appareil

d'usinage ayant une cuve pour contenir un liquide d'usinage dans lequel est plongée la pièce à usiner, et un outil pouvant être positionné de façon à être juxtaposé à la pièce à usiner dans la cuve pour définir entre lui et la pièce une interface d'usinage remplie du liquide d'usinage, ce dispositif comportant une multiplicité d'ensembles ultrasoniques disposés dans la cuve et espacés l'un de l'autre de manière à entourer la région de l'interface d'usinage en pouvant lui transmettre des ondes, chacun de ces ensembles comportant un transducteur électromécanique, et des moyens d'alimentation en courant pour exciter individuellement les transducteurs et obtenir à chaque emplacement de ces ensembles des vibrations ultrasoniques d'une fréquence comprise entre 0,05 et 10 MHz, et de préférence entre 0,1 et 2 MHz, et pour transmettre ces vibrations à la région de l'interface d'usinage par l'intermédiaire du liquide d'usinage.

En dépit de la croyance antérieure qu'il est difficile que des ondes ultrasoniques d'une fréquence supérieure à 0,05 MHz puissent produire des vibrations de grande puissance dans un milieu liquide et ne procuraient pas de performances d'usinage notablement meilleures, on a maintenant constaté que, lorsque ces ondes sont créées à plusieurs endroits espacés l'un de l'autre dans la cuve et entourant l'interface d'usinage, ces ondes ultrasoniques d'une fréquence vibratoire supérieure à 0,05 MHz et de préférence à 0,1 MHz, mais inférieure à 10 MHz, et de préférence à 2 MHz, peuvent augmenter le taux d'enlèvement ou la vitesse d'usinage de 20 à 50% par comparaison avec des ondes ultrasoniques classiques de fréquence inférieure et que par ailleurs elles permettent d'augmenter la distance effective du site de génération de ces ondes au site de l'interface d'usinage. On a constaté de façon surprenante qu'une telle augmentation du taux d'enlèvement s'obtient avec des ensembles d'une puissance très inférieure.

Selon une autre caractéristique avantageuse de l'invention, chaque ensemble ultrasonique comporte une buse d'injection de fluide et peut être positionné pour orienter cette buse dans la direction de l'interface d'usinage, le procédé se caractérisant en outre en ce qu'on établit un

courant forcé de liquide d'usinage en provenance d'une source de liquide par l'intermédiaire de chacune des buses en direction de l'interface d'usinage, et qu'on applique les vibrations ultrasoniques à haute fréquence procurées par chaque ensemble à ce courant forcé de liquide d'usinage dirigé vers l'interface d'usinage dans la cuve. La source de liquide comporte de préférence une chambre de répartition disposée à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve et ayant une arrivée pour recevoir le liquide d'usinage et des sorties raccordées aux buses par des conduits de fluide, chaque conduit étant de préférence sous forme d'un tube flexible auto-porteur, par exemple un tube à joints multiples. A l'intérieur de la chambre de répartition se trouve de préférence un vibrateur basse fréquence pouvant faire vibrer le liquide d'usinage à une fréquence faible de 100 Hz à 50 KHz. Il en résulte que le liquide d'usinage arrivant de force dans la région de l'intervalle d'usinage vibre à des fréquences soniques ou ultrasoniques basse fréquence, des vibrations ultrasoniques haute fréquence étant superposées à ces premières vibrations à chaque ensemble ultrasonique.

On a constaté qu'il en résultait un accroissement notable de la vitesse et du rendement d'usinage, un refroidissement accru de l'outil, et de ce fait une durée de vie accrue de cet outil, la possibilité d'usiner des coins plus aigus, et une plus grande stabilité d'usinage du fait, par exemple, de la suppression des décharges d'arc ou des courts-circuits. Les vibrations soniques ou ultrasoniques basse fréquence de la chambre de répartition et les vibrations ultrasoniques haute fréquence dans la région des buses peuvent être appliquées au courant forcé de liquide d'usinage, simultanément ou alternativement.

Les vibrations ultrasoniques haute fréquence appliquées au courant forcé de liquide d'usinage par les buses à chacun des ensembles ont leur amplitude de préférence modifiée en fonction de l'état de l'interface d'usinage. Ainsi, les moyens d'alimentation en courant peuvent avoir un circuit de commande associé aux transducteurs électromécaniques des ensembles ou à des circuits de commande associés chacun à chaque transducteur pour commander l'amplitude des vibrations ultrasoniques haute fréquence appliquées au liquide d'usinage

en réponse à la condition de l'interface d'usinage. La condition d'interface peut être mesurée en termes de tension, d'intensité, de résistance ou d'impédance entre l'outil et la pièce.

De façon avantageuse, on dispose les ensembles ultrasoniques pour entourer l'interface d'usinage en les fixant sur différentes portions de paroi de la cuve et en les orientant dans la direction de l'interface d'usinage. Les transducteurs électromécaniques de ces ensembles peuvent être excités par la source de courant, soit en synchronisme, soit en décalage.

On a également constaté qu'il était parfois souhaitable qu'au moins l'un des ensembles ultrasoniques disposés pour entourer l'interface de la machine émette des vibrations ultrasoniques d'une fréquence différente de la fréquence des vibrations ultrasoniques procurées par les autres ensembles. En variante, on peut disposer au moins un ensemble ultrasonique auxiliaire entourant, avec le jeu d'ensembles ultrasoniques primaires, l'interface d'usinage; cet ensemble auxiliaire peut émettre des vibrations ultrasoniques d'une fréquence comprise entre 20 et 50 kHz. Dans ce cas, les ensembles primaires sont adaptés pour émettre des vibrations ultrasoniques d'une fréquence comprise entre 0,1 et 1,6 MHz. On a constaté dans ce cas un accroissement de la vitesse d'évacuation des copeaux ou produits d'usinage de l'interface d'usinage, ce qui permet d'accroître notablement la fréquence des décharges dans une opération d'usinage par décharges électriques.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée, donnée ci-après à titre d'exemple seulement, de certaines réalisations, en liaison avec le dessin joint sur lequel :

- les figures 1 et 2 sont respectivement des vues en élévation et en plan, illustrant schématiquement une disposition selon l'invention dans laquelle trois ensembles ultrasoniques sont disposés pour entourer l'interface d'usinage en lui transmettant des ondes par l'intermédiaire du liquide d'usinage;

- la figure 3 est un graphique sur lequel on porte en abscisses la fréquence des ondes ultrasoniques et en ordonnées

la puissance de ces ondes, le graphique représentant comment la puissance varie en fonction de la fréquence;

- la figure 4 est un graphique sur lequel on porte en abscisses la fréquence des ondes ultrasoniques et en ordonnées le taux moyen d'enlèvement de matière par usinage, le graphique faisant apparaître une plage optimale de fréquences ultrasoniques avec les ensembles des figures 1 et 2;

- la figure 5 est un graphique sur lequel on porte en abscisses la fréquence des ondes ultrasoniques et en ordonnées la distance entre les ensembles et l'interface d'usinage qui permet d'améliorer le rendement d'usinage;

- la figure 6 est une vue en élévation et en coupe partielle représentant schématiquement une réalisation de l'invention dans laquelle plusieurs ensembles ultrasoniques sont disposés autour de l'interface d'usinage et comportent chacun une buse de projection de fluide, les buses étant raccordées par des tubes souples respectifs à une chambre de répartition de fluide disposée à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve;

- la figure 7 est une vue en élévation et en coupe partielle d'un appareil fondamentalement du type de la figure 6, comportant une source d'alimentation en courant d'usinage électrique et des moyens de circuits pour détecter l'état d'une interface ou d'un intervalle d'usinage électrique et commander en conséquence l'excitation des ensembles ultrasoniques;

- la figure 8 est une vue en perspective représentant schématiquement une multiplicité d'ensembles ultrasoniques disposés pour entourer l'intervalle d'usinage en étant montés sur différentes portions de paroi de la cuve;

- la figure 9 est un schéma de circuits montrant une forme du raccordement de la source de courant haute fréquence à la multiplicité des ensembles ultrasoniques;

- la figure 10 est un schéma de circuits montrant une autre forme du raccordement de la source de courant haute fréquence à la multiplicité d'ensembles ultrasoniques;

- la figure 11 est un graphique sur lequel on peut comparer le taux d'enlèvement par usinage par décharges électriques en fonction de la profondeur d'usinage, dans le cas d'une réalisation de l'invention, et dans le cas de

systèmes classiques;

- la figure 12 est une vue en perspective montrant schématiquement une multiplicité d'ensembles ultrasoniques disposés d'une manière similaire à celle de la figure 8, mais divisée en un premier groupe et en un deuxième groupe qui fonctionnent respectivement à des fréquences ultrasoniques plus élevées et plus faibles; et

- la figure 13 est un schéma de circuits montrant un système d'alimentation en courant pour exciter les ensembles ultrasoniques de la figure 12.

Les principes, la réalisation et les avantages de la présente invention apparaîtront en examinant d'abord les résultats d'une série d'expériences effectuées en usinant par électro-érosion une pièce en acier à matrice pour travail à froid SKD-11 avec une électrode cylindrique en cuivre de 50 mm de diamètre. Les figures 1 et 2 montrent l'électrode-outil 1 et la pièce à usiner 2, et plusieurs ensembles ultrasoniques, ici trois, repérés respectivement 3, 4 et 5 et disposés pour entourer la région de l'interface ou intervalle d'usinage défini entre l'électrode-outil 1 et la pièce 2 en la présence d'un liquide d'usinage, par exemple un hydrocarbure liquide ou de l'eau distillée, contenu dans une cuve non représentée. Les ensembles 3, 4 et 5 sont disposés à égale distance D de la périphérie de la zone de l'intervalle d'usinage et sont orientés individuellement pour diriger les ondes ultrasoniques produites par chaque ensemble vers la région de la zone d'usinage à travers le liquide d'usinage. Chaque ensemble 3, 4 et 5 comporte un transducteur électromécanique et ces transducteurs sont excités en synchronisme par une source de courant.

Dans les expériences, on a utilisé du kérosène ou de la paraffine comme liquide d'usinage et les paramètres d'usinage furent choisis pour obtenir une rugosité de surface R max de 6 microns. En faisant varier la fréquence F des vibrations des transducteurs et la distance D, on mesura le taux d'enlèvement moyen (vitesse d'usinage) et la distance efficace maximale D max jusqu'à l'obtention d'une profondeur d'usinage donnée, les résultats étant portés respectivement sur les figures 4 et 5. Dans ce cas, des transducteurs fonctionnant à des fréquences inférieures à 200 kHz ont

une puissance de sortie de 20 Watts et les transducteurs fonctionnant à des fréquences comprises entre 500 et 800 kHz ont une puissance de sortie de 15 W. En outre, des transducteurs fonctionnant respectivement à 1,6 MHz et 2 MHz ont des puissances de sortie respectives de 10 et 8 W. La relation entre la fréquence et la puissance de sortie des transducteurs est montrée sur la figure 3.

Les figures 4 et 5 montrent que le taux d'enlèvement moyen et la distance efficace maximale D sont chacune constantes lorsque les fréquences des vibrations ou ondes ultrasoniques sont inférieures à des valeurs données. Lorsque ces valeurs sont dépassées, le taux d'enlèvement et la distance efficace maximale D max augmentent toutes deux notablement. On doit noter particulièrement que le taux d'enlèvement moyen et la distance efficace maximale sont tous deux constants et indépendants de la fréquence lorsque celle-ci est inférieure à 100 kHz. Quand la fréquence est comprise entre 100 kHz et 2 MHz, notamment entre 300 kHz et 1 MHz, ces deux paramètres, taux d'enlèvement moyen et distance efficace maximale D, augmentent notablement en dépit d'une réduction de la puissance de sortie ultrasonique. Le taux d'enlèvement moyen peut être multiplié par 1,5 tandis que la distance efficace maximale peut être multipliée par 2.

En général, lorsque la fréquence vibratoire des ondes ultrasoniques émises par les ensembles ultrasoniques entourant la région de l'intervalle d'usinage est comprise dans la plage spécifiée, l'usinage s'effectue plus rapidement pour obtenir une rugosité de surface donnée ou permet d'obtenir un fini de surface plus lisse avec un taux d'enlèvement donné. En outre, l'usinage devient plus stable et la commande de l'opération d'usinage est plus facile.

La figure 6 montre un système de projection de liquide pour usinage électrique, notamment pour usinage par décharges électriques selon les principes de l'invention. Le système comporte un carter 11 dans lequel est élastiquement montée une chambre de répartition de liquide 12 avec une arrivée de liquide 12a. Les sorties de la chambre 12 sont constituées par une multiplicité de tubes souples mais autoporteurs 13, 14 et 15, par exemple sous la forme de tubes en acier inoxydable à joints multiples ou de tubes en chlorure de

vinyle, raccordés ensemble pour distribuer un liquide d'usinage arrivant de l'arrivée 12a dans ces tubes. Des ensembles ultrasoniques 3, 4 et 5 sont fixés aux extrémités libres individuelles des tubes 13, 14 et 15 et sont disposés de la manière décrite en liaison avec les figures 1 et 2 ou d'une manière qui va être décrite. Chaque ensemble ultrasonique 3, 4 et 5 comporte un transducteur électromécanique 3a, 4a, 5a et un bec 3b, 4b, 5b ayant des ouvertures centrales en correspondance les unes des autres pour former une buse de projection de liquide de façon que chaque courant réparti à travers les tubes 13, 14 et 15 puisse être projeté et dirigé vers la région de l'intervalle d'usinage. Le transducteur 3a, 4a, 5a est excité par une source de courant 10 pour émettre des vibrations ultrasoniques à une fréquence comprise entre 0,05 et 10 MHz, de préférence entre 0,1 et 2 MHz, et pour appliquer par l'intermédiaire des becs 3b, 4b et 5b les vibrations sur chaque courant projeté du liquide d'usinage dirigé vers la région de l'intervalle d'usinage.

La chambre de répartition 12 comporte de préférence d'autres moyens pour exciter en vibrations le liquide d'usinage à une fréquence sonique ou ultrasonique inférieure, par exemple comprise entre 100 Hz et 50 KHz. Ces moyens peuvent comporter une plaque vibrante 21 supportée par une tige 22 disposée à l'intérieur de la chambre 12 et agencée pour être déplacée dans les deux sens à une fréquence voulue par un système électromagnétique 23 excité par une source de courant 24. La tige est montée élastiquement sur le fond du carter 11 par un ressort 25. Deux broches de limitation 26 sont prévues dans la chambre 12 pour déterminer la position inférieure de la plaque vibrante 21.

Du fait de ces moyens de vibration auxiliaires, chaque courant de liquide projeté par chaque ensemble de buse ultrasonique 3, 4 et 5, vibre à basse fréquence et les vibrations ultrasoniques haute fréquence provenant du fonctionnement des transducteurs 3a, 3b, 3c sont superposées sur ces vibrations basse fréquence. Il en résulte que les copeaux et le goudron résultant, dans l'intervalle d'usinage, du procédé d'usinage par électro-érosion, sont enlevés plus aisément de cet intervalle ou interface. En outre, l'électrode-outil est mieux refroidie, ce qui lui assure une durée de vie plus

grande, les angles usinés sont plus aigüs et le taux d'enlèvement est augmenté.

La figure 7 montre une chambre de répartition 12, un carter 11 et des tubes flexibles 13, 14 et 15 sous une forme similaire à la figure 6; des ensembles ultrasoniques 3, 4 et 5 sont disposés aux extrémités libres individuelles des tubes et disposés pour entourer la région de l'intervalle d'usinage G défini par une électrode d'usinage 1 et une pièce à usiner 2 plongée dans un liquide d'usinage 27 contenu dans une cuve 28. L'électrode-outil 1 et la pièce à usiner 2 sont raccordées à une source de courant d'usinage 29 qui fournit une série d'impulsions d'usinage électrique au travers de l'intervalle d'usinage G rempli de liquide diélectrique pour enlever de la matière de la pièce 2. Au cours d'une opération d'usinage, l'électrode-outil 1 peut être déplacée dans les trois dimensions pour former une cavité 2a dans la pièce 2.

La source de courant ultrasonique haute fréquence 10 est raccordée aux transducteurs respectifs des ensembles ultrasoniques par un montage en parallèle d'une résistance 31 et d'un interrupteur marche-arrêt 32, qui est ici actionné par un enroulement électromagnétique 33. Une résistance de mesure 34 est montée entre l'électrode-outil 1 et la pièce 2 en parallèle avec la source de courant d'usinage pour détecter l'état de l'intervalle en termes de tension mesurée à la résistance 34. Un circuit de commande 35 est sensible à la tension mesurée et est conçu pour exciter l'enroulement 33 lorsque la tension tombe en dessous d'un seuil présélectionné. De ce fait, si la condition d'usinage est normale ou satisfaisante, la résistance 31 se trouve dans un circuit entre la source de courant 10 et chacun des ensembles ultrasoniques 3, 4 et 5, pour produire des ondes ultrasoniques à un niveau limité. Lorsque la tension d'intervalle tombe en dessous de la valeur du seuil, indiquant une condition de court-circuit due au colmatage de la région d'intervalle par les produits de l'usinage, l'enroulement 33 est excité et ferme l'interrupteur 32, shuntant ainsi la résistance de limitation du courant 31 ou raccordant directement la source de courant 10 à chacun des transducteurs des ensembles 3, 4 et 5. Ces derniers sont alors excités pour produire les ondes ultra-

soniques à un niveau maximal et accélérer le nettoyage de l'intervalle. Bien que le carter 11 soit représenté à l'extérieur de la cuve 28, il peut être disposé à l'intérieur.

Dans une réalisation de l'invention représentée sur la figure 8, six ensembles ultrasoniques similaires 3, 4, 5, 6, 7 et 8 sont disposés pour entourer la région d'un intervalle ou interface d'usinage entre une surface d'électrode active 1a d'une électrode-outil 1 se présentant sous la forme d'un cône, et une pièce à usiner 2 sous la forme d'un bloc rectangulaire supporté par deux rails dans la cuve 28 contenant un liquide d'usinage à un niveau tel que les ensembles 3 à 8 et la région G de l'intervalle d'usinage soient complètement immergés. Dans cette réalisation, l'un des ensembles ultrasoniques 3 est monté à basculement sur un bras-support 37 se terminant par une chape, sur les branches 37a et 37b de laquelle il est fixé par une vis ou un boulon 38. L'extrémité supérieure du bras 37 porte un manchon 37c supporté sur un socle 39 en forme de chape et y est fixée de façon réglable par une vis ou un boulon 40. La position du manchon 37c sur le bras 37 et, de ce fait la longueur de ce dernier depuis sa base 39 ou la position verticale de l'ensemble ultrasonique 3 peut être réglée par une broche 41. Le socle 39 est monté à coulissement sur un rail de guidage 42 formé sur une paroi interne 28a de la cuve 28. La position du socle 39 sur le rail de guidage 42 et de ce fait, la position horizontale de l'ensemble 3 est réglable par l'intermédiaire d'une bride de blocage 43. La position angulaire de l'ensemble 3 sur les branches de la chape terminale du bras-support 37, et de ce fait l'orientation angulaire de l'ensemble 3 dans le système peut être réglée par le blocage du boulon 38.

Les autres ensembles ultrasoniques 4, 5, 6, 7 et 8 sont supportés de façon similaire sur les portions de paroi latérale de la cuve 28, bien que l'on ne les ait pas représentés pour des raisons de clarté.

Les ensembles ultrasoniques 3 à 8 comportent des transducteurs électromécaniques comportant chacun un élément piézo-électrique ou électrostrictif ou magnétostrictif; ces éléments sont raccordés en phase l'un avec l'autre au générateur haute fréquence 10, comme il est représenté sur la figure 9. On peut modifier la disposition du circuit, comme on le voit

sur la figure 10, pour monter un amplificateur 10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f entre le générateur 10 et chacun des transducteurs des ensembles 3 à 8.

Exemple.

On usine par électro-érosion une pièce en acier SKD-11 avec une électrode en cuivre comme outil et du kérosène comme liquide d'usinage, tout en utilisant des nombres variables d'ensembles ultrasoniques fonctionnant chacun à une fréquence de 0,8 MHz. Les impulsions d'usinage ont une durée d'impulsion de 10 microsecondes, un intervalle entre impulsions de 5 microsecondes, et une intensité de pointe de 25 A. Les résultats sont montrés sur le graphique de la figure 11 dans lequel le taux d'enlèvement d'usinage (g/mm) est porté en ordonnées et la profondeur d'usinage (mm) est portée en abscisses. Sur le graphique, la courbe A correspond à l'utilisation d'un seul ensemble ultrasonique, la courbe B à deux ensembles, et la courbe C à quatre ensembles ultrasoniques.

La réalisation de la figure 12 montre l'utilisation d'un premier groupe d'ensembles ultrasoniques 3, 4 et 5 fonctionnant à une fréquence ultrasonique élevée dans la plage de 0,1 à 1,6 MHz et un deuxième groupe d'ensembles ultrasoniques 6, 7 et 8 fonctionnant à une fréquence ultrasonique faible comprise entre 20 et 50 kHz; les ensembles 3 à 5 et 6 à 8 dans chaque groupe sont disposés symétriquement de façon à entourer l'intervalle d'usinage défini entre l'outil 1 et la pièce dans la cuve comme il a été décrit précédemment.

Sur la figure 13, les ensembles 3, 4 et 5 du premier groupe sont excités en phase l'un avec l'autre par une source de courant 100 constituée par une source de courant continu 101, un oscillateur haute fréquence 102 et un amplificateur 103, tandis que les ensembles 6, 7 et 8 du deuxième groupe sont excités en phase l'un avec l'autre par une source de courant 104 comprenant une source de courant continu 105, un oscillateur basse fréquence 106 et un amplificateur 107.

La présente invention procure donc un procédé et un appareil améliorés pour usiner, notamment par électro-érosinn, des pièces avec un meilleur rendement d'usinage, une meilleure stabilité et de meilleures performances.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'usinage dans lequel une pièce est plongée dans un liquide d'usinage contenu dans une cuve et un outil est juxtaposé à la pièce dans la cuve pour définir entre lui et la pièce une interface d'usinage remplie du liquide d'usinage, caractérisé en ce qu'on dispose une multiplicité d'ensembles ultrasoniques dans la cuve de telle manière qu'ils soient espacés l'un de l'autre et disposés pour entourer la région de l'interface en lui transmettant des ondes par l'intermédiaire du liquide d'usinage, en ce qu'on excite individuellement ces ensembles pour émettre des vibrations ultrasoniques à une fréquence comprise entre 0,05 et 10 MHz, et en ce qu'on transmet ces vibrations à la région de l'interface par l'intermédiaire du liquide d'usinage.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fréquence est comprise entre 0,1 et 2 MHz.

3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel chacun des ensembles ultrasoniques comporte une buse et peut être positionné pour orienter cette buse dans la direction de l'interface d'usinage, caractérisé en ce qu'on établit un courant forcé de liquide d'usinage depuis la source de liquide à travers chacune des buses en direction de l'interface d'usinage et qu'on applique des vibrations ultrasoniques à chacun des ensembles pour établir un courant forcé de liquide d'usinage dirigé vers l'interface d'usinage dans la cuve.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'on excite en vibrations à une fréquence de 0,1 à 50 kHz ce courant forcé de liquide d'usinage avant de le faire passer dans la buse.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'on mesure l'état de l'interface d'usinage pour émettre un signal électrique le représentant et en ce qu'on commande au moins un paramètre des vibrations ultrasoniques en réponse à ce signal électrique.

6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les ensembles ultrasoniques sont excités en phase l'un avec l'autre par une source de courant haute fréquence.

7. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on dispose au moins un ensemble ultrasonique additionnel fonctionnant à une fréquence comprise entre 20 kHz et 50 kHz

de façon à transmettre des ondes dans la région de l'interface d'usinage par l'intermédiaire du liquide d'usinage.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que plusieurs ensembles ultrasoniques additionnels sont disposés pour entourer la région de l'interface d'usinage.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que ces ensembles ultrasoniques additionnels sont excités en phase l'un avec l'autre par une source de courant basse fréquence indépendante de la source de courant haute fréquence.

10. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'outil est une électrode-outil d'usinage par décharges électriques et que le liquide d'usinage est un liquide diélectrique.

11. Appareil d'usinage ayant une cuve pour contenir un liquide d'usinage dans lequel est plongée la pièce à usiner, et un outil pouvant être positionné de façon à être juxtaposé à la pièce à usiner pour définir entre lui et la pièce une interface d'usinage remplie de ce liquide d'usinage, caractérisé en ce qu'il comporte une multiplicité d'ensembles ultrasoniques disposés dans la cuve et espacés l'un de l'autre de manière à entourer la région de l'interface d'usinage en pouvant lui transmettre des ondes, chacun des ensembles comportant un transducteur électromagnétique, et des moyens d'alimentation en courant pour exciter individuellement ces transducteurs et émettre à chaque emplacement de ces ensembles des vibrations ultrasoniques à une fréquence comprise entre 0,05 et 10 MHz, et pour transmettre ces vibrations à la région de l'interface d'usinage par l'intermédiaire du liquide d'usinage.

12. Appareil selon la revendication 11, caractérisé en ce que les transducteurs et les moyens d'alimentation en courant sont adaptés pour émettre des vibrations ultrasoniques à une fréquence comprise entre 0,1 et 2 MHz.

13. Appareil selon la revendication 11, caractérisé en ce que chaque ensemble ultrasonique comporte une buse d'injection de liquide et peut être positionné pour orienter cette dernière vers la région de l'interface d'usinage et former ainsi un courant forcé de liquide d'usinage depuis la source de liquide à travers chacune des buses en direction de l'interface d'usinage, et en ce que chaque ensemble ultra-

sonique est adapté pour appliquer ces vibrations ultrasoniques à chacun des courants forcés du liquide d'usinage dirigés vers l'interface d'usinage dans la cuve.

14. Appareil selon la revendication 13, caractérisé en ce que la source de liquide comporte une chambre de répartition avec une arrivée de liquide pour recevoir le liquide d'usinage et une multiplicité de sorties raccordées respectivement auxdites buses par des conduits de liquide individuels.

15. Appareil selon la revendication 14, caractérisé en ce que chaque conduit de liquide individuel comporte un tube flexible, mais autoporteur, pour permettre de positionner l'ensemble ultrasonique qui lui est associé à un emplacement prédéterminé avec une orientation prédéterminée.

16. Appareil selon la revendication 15, caractérisé en ce que le tube flexible autoporteur est un tube métallique à joints multiples.

17. Appareil selon la revendication 14, caractérisé en ce que la chambre de répartition est adaptée pour être disposée à l'intérieur de la cuve.

18. Appareil selon la revendication 14, caractérisé en ce que des moyens de vibrateur basse fréquence sont disposés dans la chambre de répartition pour exciter en vibrations le liquide d'usinage qui s'y trouve à une fréquence comprise entre 0,1 et 50 kHz.

19. Appareil selon la revendication 11 ou la revendication 13, caractérisé en ce que des moyens de détecteurs mesurent les conditions électriques à l'interface d'usinage pour émettre un signal électrique et en ce que des moyens de commande sont sensibles à ce signal électrique pour agir sur les moyens d'alimentation en courant et commander au moins un paramètre des vibrations ultrasoniques émises par chacun des ensembles.

20. Appareil selon la revendication 11, caractérisé en ce que chaque ensemble ultrasonique est monté de façon amovible sur une portion de paroi latérale de la cuve par des moyens permettant de régler sa position verticale, des moyens de régler sa position horizontale et des moyens pour permettre de régler sa position angulaire, chacun de ces moyens étant indépendant des autres.

21. Appareil selon la revendication 11, caractérisé en ce que chaque ensemble comporte un transducteur électromécanique, chaque transducteur étant raccordé en phase avec les autres à un générateur haute fréquence commun constituant les moyens d'alimentation en courant.

22. Appareil selon la revendication 21, caractérisé en ce que le transducteur électromécanique est choisi dans la classe constituée par un élément piézo-électrique, un élément électrostrictif et un élément magnétostrictif.

23. Appareil selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un ensemble ultrasonique additionnel disposé dans la cuve pour transmettre des ondes à la région de l'intervalle d'usinage et qu'il peut être excité par des moyens d'alimentation en courant indépendant des premiers moyens d'alimentation en courant pour émettre des vibrations ultrasoniques à une fréquence comprise entre 20 et 50 kHz.

24. Appareil selon la revendication 21, caractérisé en ce que plusieurs ensembles ultrasoniques additionnels sont disposés pour entourer la région de l'interface d'usinage.

25. Appareil selon la revendication 24, caractérisé en ce que les ensembles ultrasoniques additionnels sont raccordés en phase l'un avec l'autre à la deuxième alimentation en courant.

2473362

FIG. 1

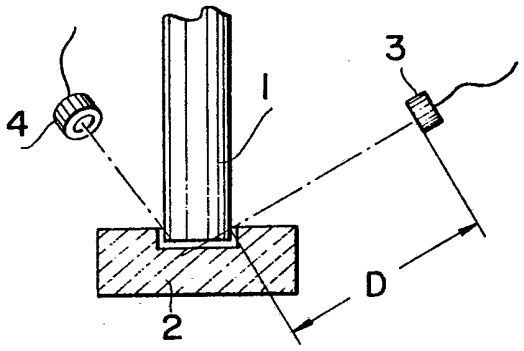
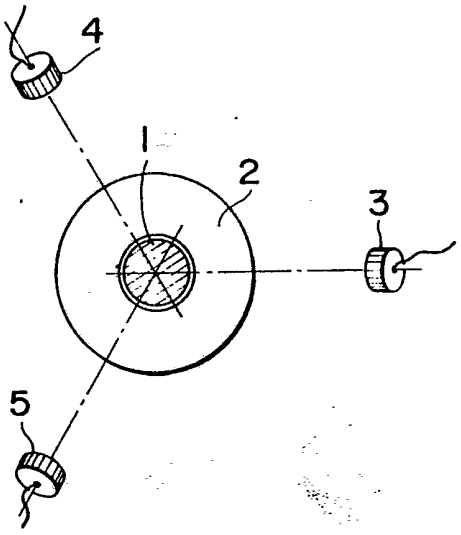


FIG. 2



2473362

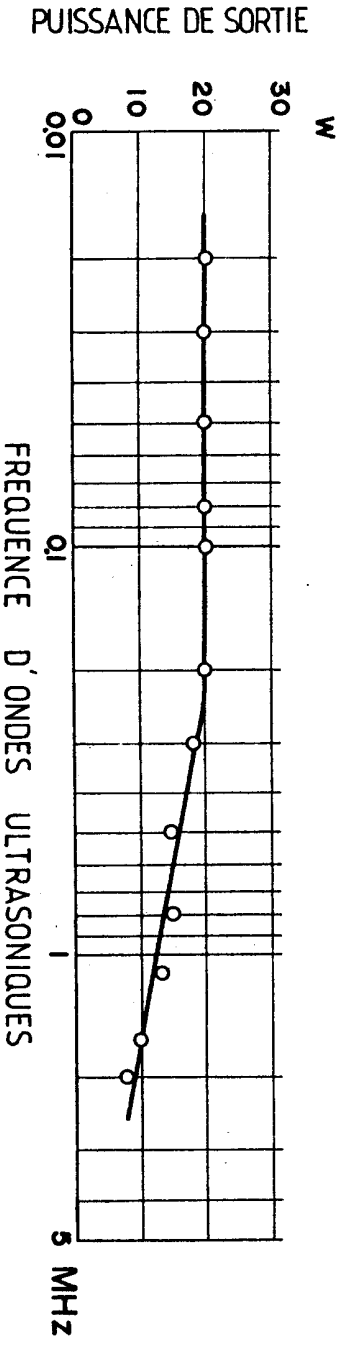


FIG. 3

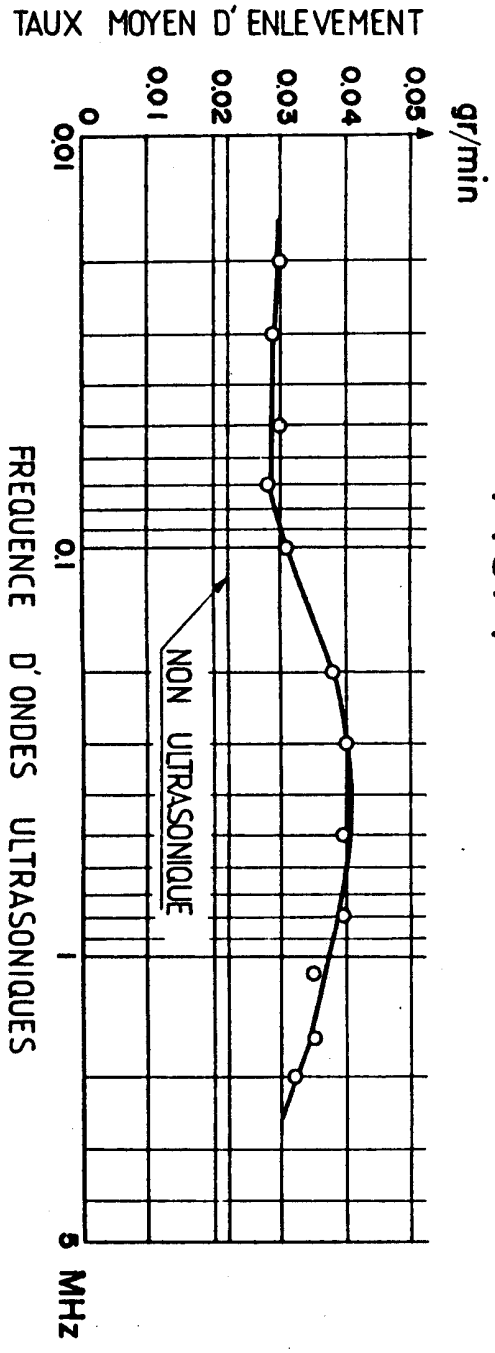


FIG. 4

2473362

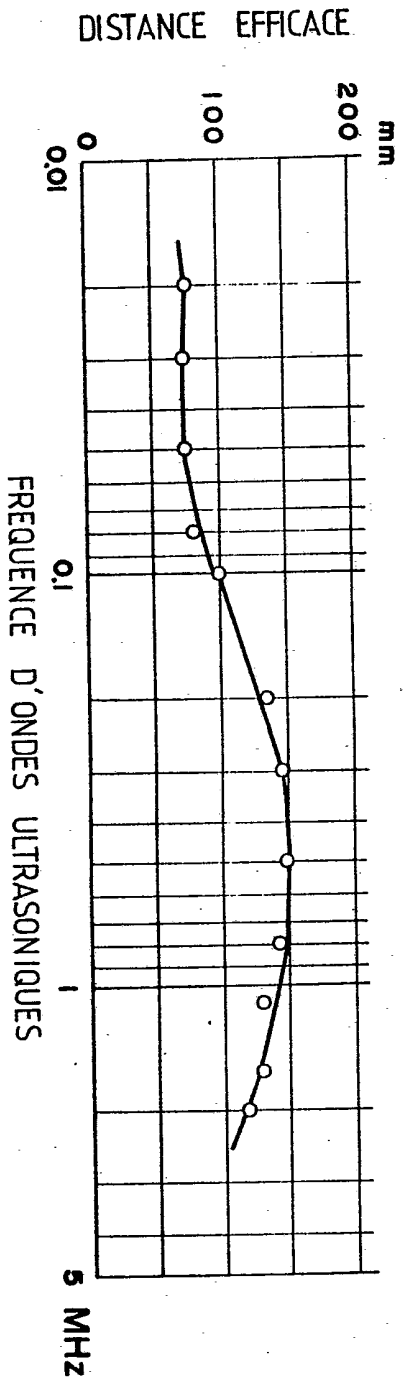
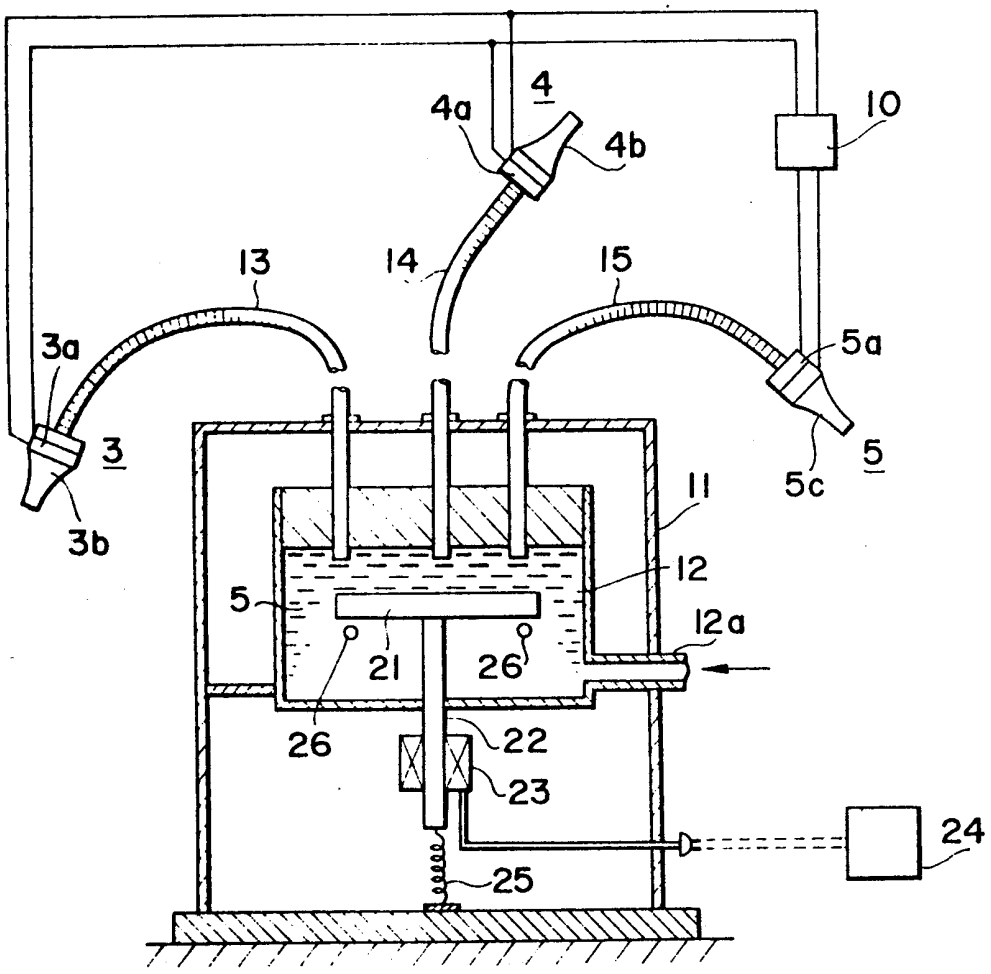


FIG.5

FIG. 6



2473362

FIG. 7

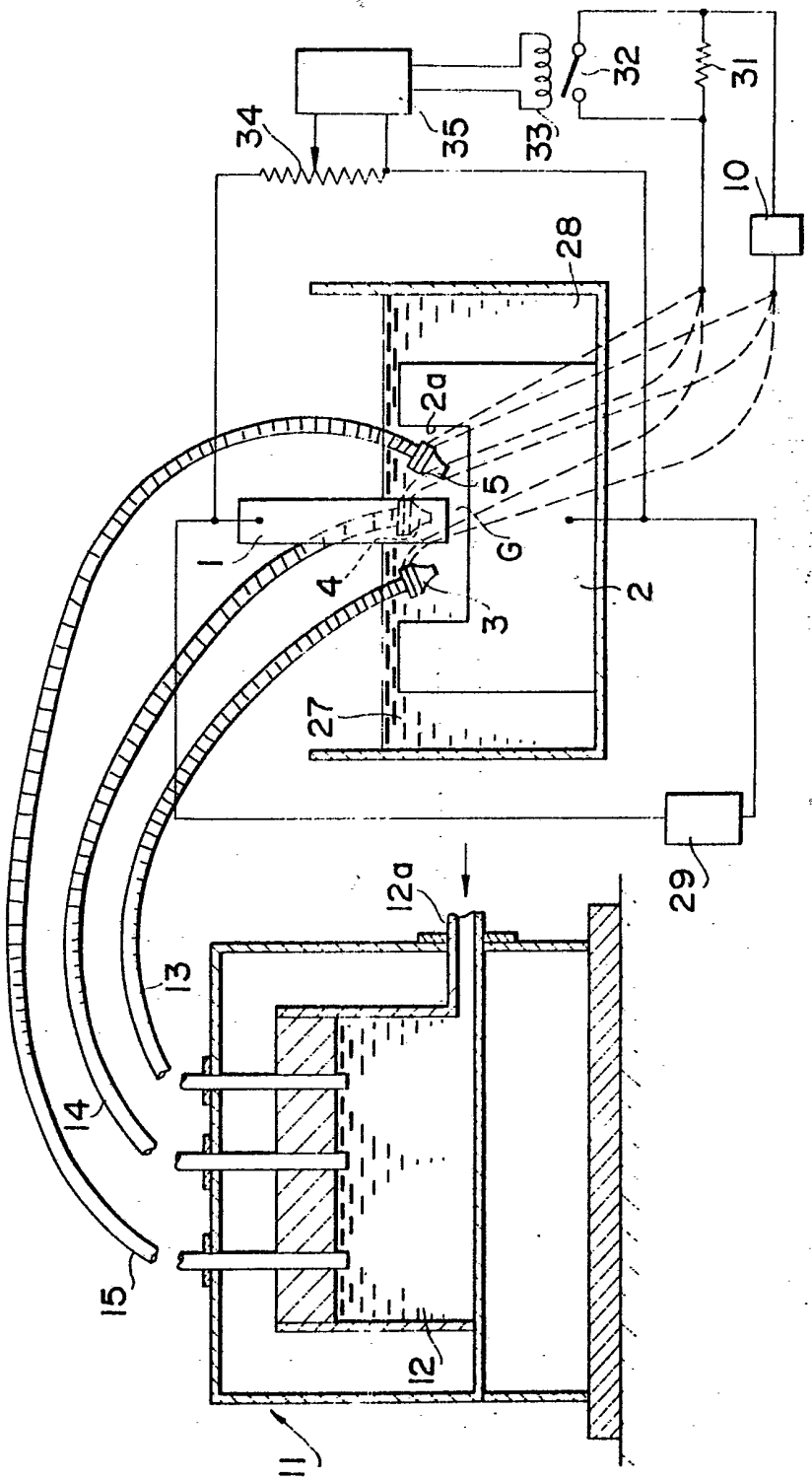
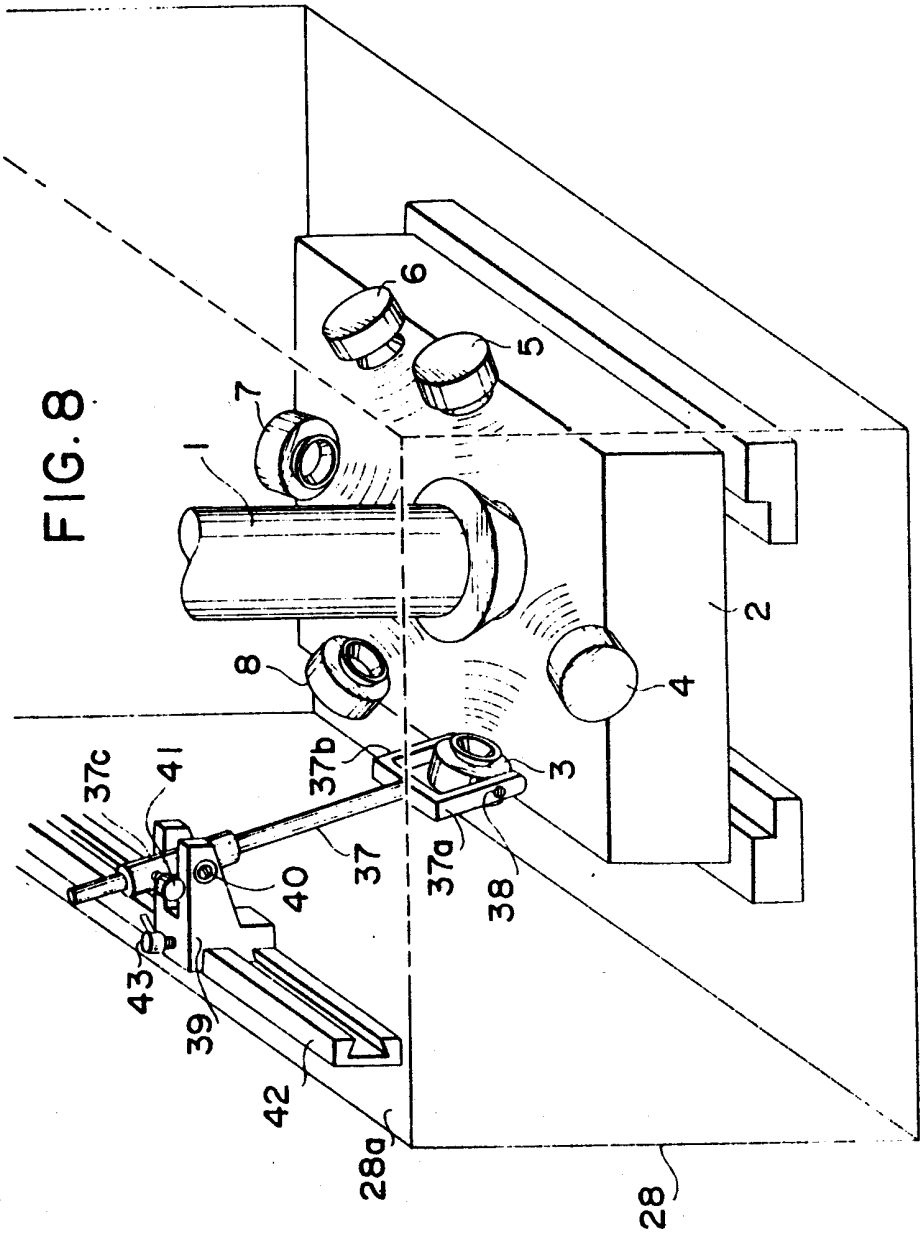


FIG. 8



2473362

FIG. 10

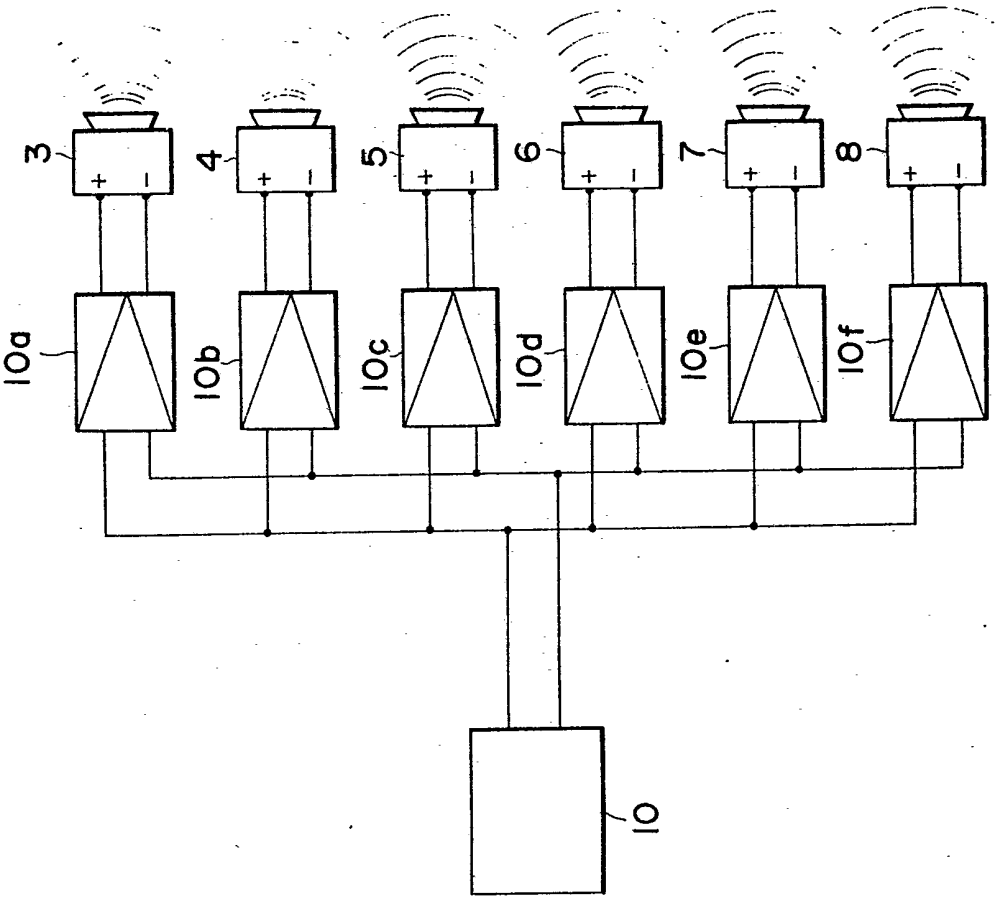
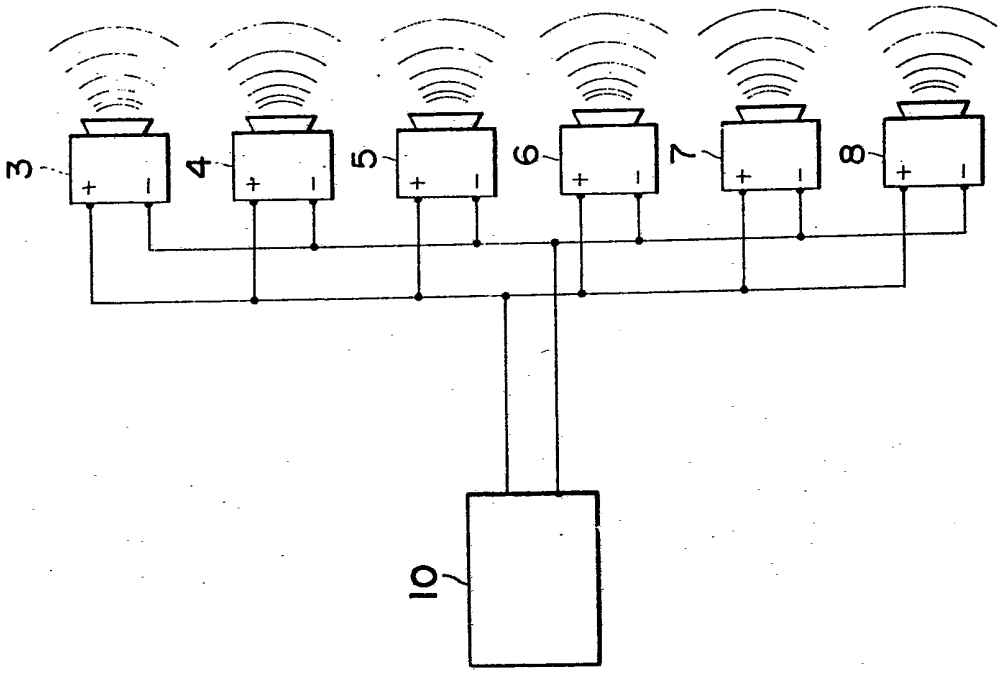


FIG. 9



2473362

FIG. 11

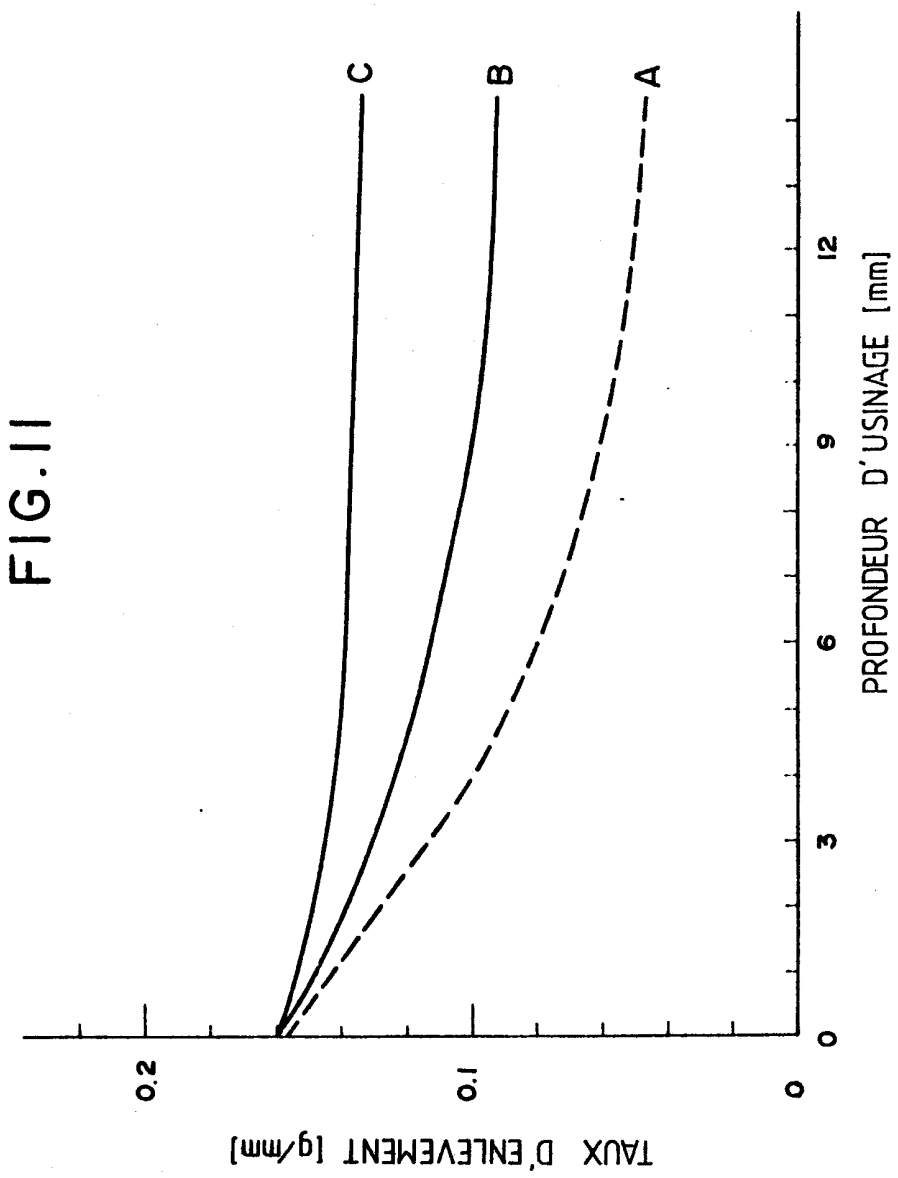
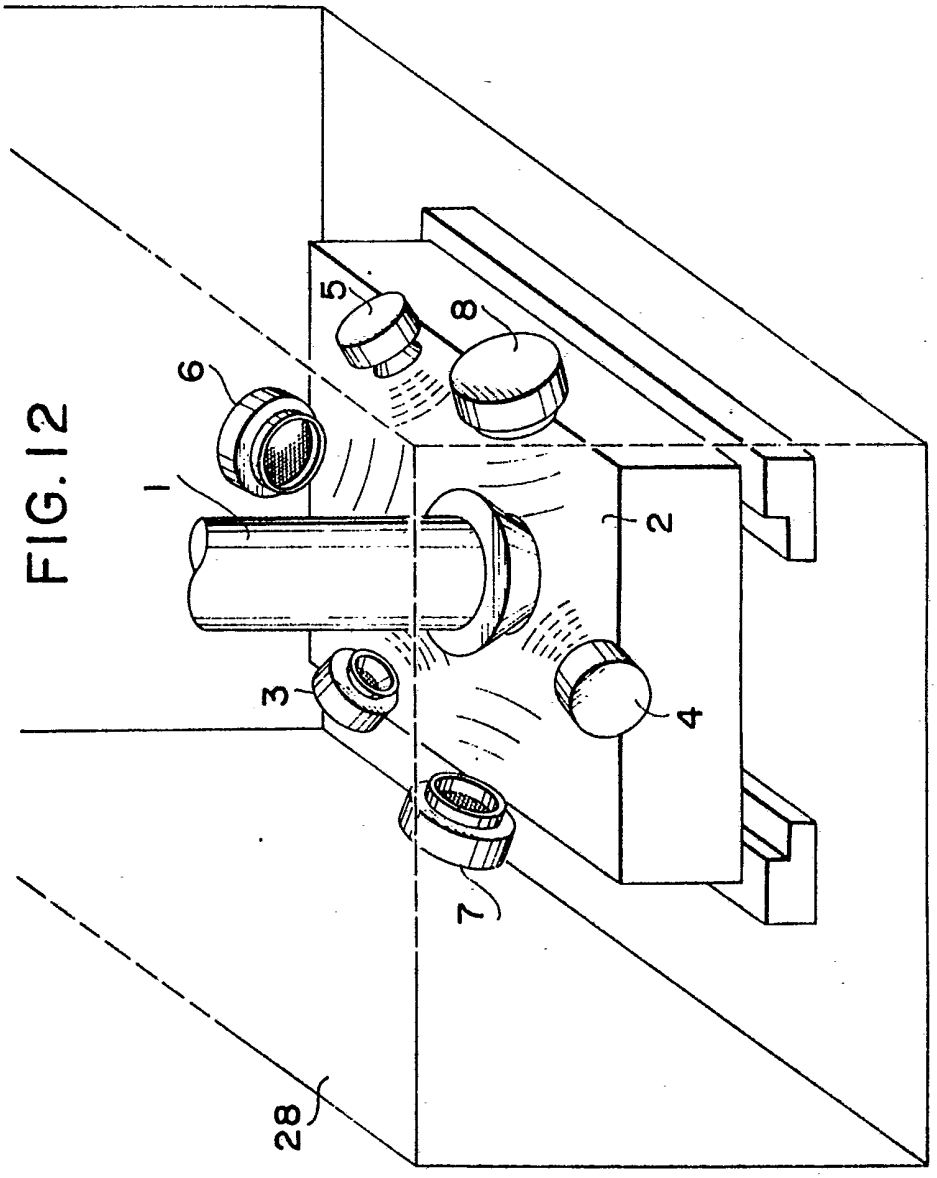


FIG. 12



2473362

FIG.13

