



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

① CH 649 025 A5

⑤ Int. Cl.⁴: B 23 H 5/02
B 23 H 7/02

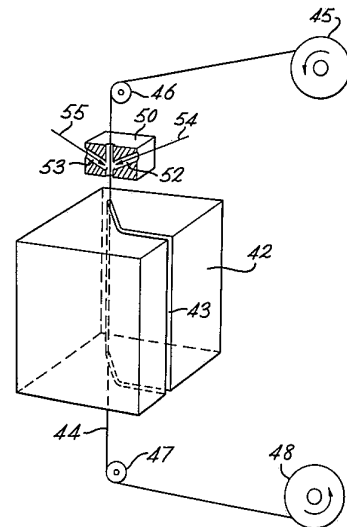
Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ **FASCICULE DU BREVET** A5

<p>⑲ Numéro de la demande: 2260/82</p> <p>⑳ Date de dépôt: 14.04.1982</p> <p>⑳ Priorité(s): 15.04.1981 GB 8111907</p> <p>㉔ Brevet délivré le: 30.04.1985</p> <p>④⑤ Fascicule du brevet publié le: 30.04.1985</p>	<p>⑦③ Titulaire(s): National Research Development Corporation, London SE1 6BU (GB)</p> <p>⑦② Inventeur(s): McGeough, Joseph Anthony, Aberdeen (GB)</p> <p>⑦④ Mandataire: Kirker & Cie SA, Genève</p>
--	--

⑤④ **Procédé et appareil d'usinage électriques d'une pièce à usiner.**

⑤⑦ L'appareil comprend des moyens de positionnement pour maintenir une électrode à fil métallique (44) à proximité d'une pièce à usiner (42) et pour commander la distance entre la pièce à usiner et l'électrode pour couper une forme désirée d'une pièce à usiner, des moyens pour amener le fil de l'électrode au voisinage de l'espace entre la pièce à usiner et l'électrode au devant de la pièce à usiner (46, 47) lorsque l'appareil est en fonctionnement, des moyens pour interposer un électrolyte (50) dans l'espace entre l'électrode et la pièce à usiner, et des moyens d'application de la tension pour appliquer une tension unidirectionnelle intermittente ou continue entre l'électrode (44) et la pièce à usiner (42). L'écartement entre la pièce à usiner et le fil est commandé par des moyens de positionnement. La tension est appliquée de telle manière que la matière est enlevée de la pièce à usiner par action électrolytique, et qu'au moins par moment pendant son application, une décharge porteuse de courant a lieu entre l'électrode et la pièce à usiner.



REVENDEICATIONS

1. Procédé d'enlèvement de matière d'une pièce à usiner, comprenant la disposition d'une électrode et d'une pièce à usiner électriquement conductrice au voisinage immédiat l'une par rapport à l'autre, mais avec un écartement entre l'électrode et la pièce à usiner, l'établissement d'un mouvement relatif entre l'électrode et la pièce à usiner, et l'application d'une tension intermittente unidirectionnelle entre l'électrode et la pièce à usiner, caractérisé en ce que l'écartement contient un électrolyte, ladite tension est appliquée pour provoquer l'enlèvement de matière de la pièce à usiner par action électrolytique, les dimensions de l'écartement et la tension appliquée sont telles qu'une décharge en arc porteuse d'un courant se produit par moments entre l'électrode et la pièce à usiner pendant l'application de la tension, l'électrode étant une électrode à fil et le procédé comprenant le renouvellement continu de la partie d'électrode proche de la pièce à usiner par déplacement de l'électrode à fil dans la direction de son axe longitudinal.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'électrolyte est injecté, autour de l'électrode à fil, dans l'espace de l'écartement.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les étapes suivantes sont répétées cycliquement: surveiller la décharge dans l'écartement pour détecter l'établissement de l'arc, enlever la tension appliquée lorsque l'établissement de l'arc est détecté et rétablir la tension entre l'électrode et la pièce à usiner après l'écoulement d'un intervalle de temps donné.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que cette tension appliquée se présente sous forme d'impulsions de tension ayant un rapport durée/espace réglable.

5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la tension appliquée est continue jusqu'à ce que l'établissement d'un arc soit détecté.

6. Application du procédé selon l'une des revendications 1 à 5 pour l'enlèvement de matière en dessous de la surface de la mer, caractérisé en ce que l'eau de mer forme ledit électrolyte.

7. Appareil d'enlèvement de matière d'une pièce à usiner, pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication 1, comprenant des moyens de positionnement pour maintenir une électrode à fil métallique à proximité d'une pièce à usiner et pour commander la distance entre la pièce à usiner et l'électrode pour couper une forme désirée d'une pièce à usiner, des moyens pour amener le fil de l'électrode au voisinage de l'espace entre la pièce à usiner et l'électrode au-devant de la pièce à usiner lorsque l'appareil est en fonctionnement, des moyens pour interposer un électrolyte dans l'espace entre l'électrode et la pièce à usiner, et des moyens d'application de la tension pour appliquer une tension unidirectionnelle intermittente ou continue entre l'électrode et la pièce à usiner, caractérisé en ce que les moyens d'application de la tension appliquent une tension de telle manière que la matière est enlevée de la pièce à usiner par action électrolytique, ladite distance commandée par les moyens de positionnement et ladite tension étant telles que, au moins par moments pendant son application, une décharge porteuse de courant a lieu, pendant le fonctionnement, entre l'électrode et la pièce à usiner.

8. Appareil selon la revendication 7, caractérisé en ce que les moyens d'interposition d'un électrolyte dans l'espace comprennent des moyens pour entourer le fil avec une couche d'électrolyte liquide.

9. Appareil selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens d'entourage du fil avec une couche d'électrolyte comprennent au moins un organe ayant un ajutage au travers duquel le fil passe en ligne droite vers ledit espace et les moyens d'injection de l'électrolyte dans l'organe pour sortir le long du fil vers la pièce à usiner.

10. Appareil selon l'une des revendications 7 à 9 comprenant des moyens de surveillance pour contrôler l'état de la décharge dans l'espace de l'écartement.

11. Appareil selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens de surveillance sont agencés pour détecter des signaux de haute fréquence générés dans ledit écartement.

12. Appareil selon l'une des revendications 7 à 11, caractérisé en ce que les moyens de positionnement comprennent un servomécanisme pour commander la distance entre l'électrode et la pièce à usiner de telle manière que cette distance ait une valeur dans la plage de 10 à 250 μ .

13. Appareil selon la revendication 12, caractérisé en ce que ladite valeur est de $40 \pm 10 \mu$.

La présente invention concerne un procédé et un appareil d'enlèvement de matière électriquement d'une pièce à usiner.

Les procédés d'usinage par électrodécharge (EDM) et électrochimique (ECM) ont été développés récemment essentiellement pour résoudre les problèmes associés aux alliages durs, résistant à la chaleur, qui sont difficiles à usiner par les procédés traditionnels. Le premier procédé enlève le métal par l'effet d'érosion des étincelles électriques, déchargées par un diélectrique, tandis que le second procédé est fondé sur la dissolution électrolytique d'une pièce à usiner anodique, l'écartement entre cette électrode et l'outil cathodique étant rempli d'électrolyte. Bien que EDM permette d'obtenir une précision dimensionnelle supérieure à ECM, il constitue un procédé lent et la pièce à usiner présente en général des couches en surface endommagées métallurgiquement parlant par la formation d'une zone affectée par la chaleur. D'autre part, ECM donne une précision dimensionnelle inférieure. Ce procédé est généralement capable de taux d'extraction de métal supérieurs à EDM et il n'a pratiquement aucun effet délétère sur les propriétés de surface du matériau; effectivement, un fini de surface lisse et brillant est une caractéristique du procédé d'usinage ECM.

En formant une pièce à usiner par le procédé ECM, la pièce à usiner et l'outil sont l'anode et la cathode, respectivement, d'une cellule électrolytique et une différence de potentiel est appliquée entre les électrodes. La vitesse de la dissolution du métal de l'anode est approximativement en proportion inverse à la distance entre les électrodes, comme conséquence de la loi d'Ohm.

En cours d'usinage ECM, et l'outil cathode étant entraîné vers l'anode, généralement à une vitesse constante, la largeur de l'écartement le long de la longueur de l'électrode tend graduellement à prendre une valeur d'équilibre, d'une manière caractéristique 0,5 mm. Dans ces conditions, une forme grossièrement complémentaire à celle de la cathode est reproduite sur la pièce à usiner anodique. Etant donné que la seule réaction électrolytique au niveau de la cathode est un dégagement de gaz, il n'y a pas d'usure de l'outil.

Quelques-unes des caractéristiques principales de l'usinage EDM sont mentionnées brièvement ci-après. L'électrode et la pièce à usiner sont séparées par un petit écartement, d'une manière caractéristique 10 μ m, et il est rempli avec un fluide diélectrique tel que de la paraffine ou de l'huile légère. Une tension, généralement d'environ 80 V, est appliquée sur l'écartement. Le passage d'un courant de l'ordre de 1 mA donne comme résultat la formation d'une bulle de vapeur diélectrique, due au chauffage de Joule. La présence de la vapeur de gaz joue un rôle important dans l'action de jaillissement d'étincelles dans l'usinage EDM. Après une temporisation d'allumage, d'une manière caractéristique d'environ 0,1 à 5 μ s, la décharge disruptive se produit. Les étincelles ont alors lieu dans l'écartement interélectrodes mais, de manière à empêcher la production d'arcs, la tension est enlevée après un court intervalle. On laisse alors s'écouler un autre court intervalle avant l'impulsion de tension suivante de manière à permettre au fluide à l'écartement interélectrodes de se désioniser.

La conséquence d'une série d'impulsions de tension appliquées dans l'écartement est la production d'un ensemble de décharges indi-

viduelles variables. Les décharges affectent à la fois les électrodes anodique et cathodique, provoquant une augmentation de la température locale jusqu'à environ 4000 à 10 000 K. Cette chaleur intense au niveau des électrodes résulte en l'extraction du métal par vaporisation.

Bien que la décharge affecte les deux électrodes, le choix judicieux des conditions du procédé et des matériaux de l'outil peut réduire l'usure de l'électrode jusqu'à la ramener à 1% de la pièce à usiner. Les matériaux d'électrodes communs qui satisfont les critères d'une faible usure de l'outil sont le graphite, le cuivre et le tungstène de cuivre de densité élevée.

Le procédé de la présente invention pour enlever de la matière d'une pièce à usiner est défini par la revendication 1.

Ainsi un procédé d'usinage combine les avantages de l'usinage EDM (haute précision d'usinage) avec ceux de l'usinage ECM (vitesse élevée d'extraction du métal et bon fil de surface). Le procédé d'usinage de l'invention est du type connu sous le nom d'usinage à arc électrochimique (ECAM).

Bien qu'il ait été établi que l'usinage EDM soit préférable dans certains aspects à l'usinage ECM et vice versa et que pour cette raison une combinaison des deux procédés serait avantageuse, on a pensé que les exigences incompatibles des deux systèmes empêcheraient une telle combinaison. Par exemple, alors que l'usinage EDM a besoin d'un diélectrique dans l'écartement, l'usinage ECM a besoin que l'écartement soit rempli d'un électrolyte. Il serait raisonnable d'assumer que le début d'une étincelle est plus facile dans un électrolyte que dans un diélectrique, étant donné que, dans le premier cas, à la fois les ions positifs et les électrons positifs sont déjà présents dans l'écartement. Cependant, pour une largeur d'écartement donnée, une tension d'alimentation supérieure est requise pour obtenir un champ électrique donné avec un électrolyte, étant donné que, dans ce cas, un courant passera et il y aura des chutes de tension sur d'autres éléments du circuit. Ainsi, on pensait que des étincelles nécessaires pour l'usinage EDM ne pouvaient être établies dans un électrolyte fort, à l'exception de circonstances spéciales où l'électrode ou une électrode intermédiaire était amenée périodiquement au contact de la pièce à usiner. Le premier aspect de l'invention est fondé sur la confirmation par le présent inventeur que, dans l'usinage ECAM, les décharges électriques déchargeuses de courant ont lieu dans l'électrolyte par rupture des bulles de gaz dues à l'effet de chauffage du courant électrolytique et/ou des produits chimiques de l'action électrolytique. Pour cette raison, l'action électrolytique devrait, de préférence, être telle que du gaz soit généré.

La tension intermittente peut prendre la forme d'impulsions avec un rapport durée/espacement réglable, et la tension continue peut être appliquée jusqu'au début de l'arc dans l'écartement lorsque la tension est enlevée pendant un intervalle de temps pour permettre le rétablissement des conditions dans l'écartement.

L'électrode peut osciller en synchronisme avec l'application de la tension de manière à avoir un mouvement oscillatoire par rapport à la pièce à usiner mais, dans un autre mode de réalisation du procédé, il n'y a pas de mouvements de l'électrode, excepté peut-être celui dû à l'alimentation progressive de l'électrode vers la pièce à usiner au fur et à mesure que de la matière est enlevée, pour compenser les effets de l'érosion.

Dans une variante du procédé de l'invention, la pièce à usiner est positionnée dans un conteneur et elle est juste recouverte avec un électrolyte fort. Une couche de liquide diélectrique qui flotte sur l'électrolyte, mais sans sensiblement se mélanger avec l'électrolyte, est alors formée sur l'électrolyte. L'électrode est alors déplacée vers la pièce à usiner jusqu'à ce qu'elle se trouve dans la région immédiate de l'interface entre l'électrolyte et le diélectrique lorsque l'enlèvement de matériau commence, si la tension unidirectionnelle est appliquée.

Les moyens de surveillance peuvent générer un signal qui est utilisé pour commander la dimension de l'écartement.

Les moyens de surveillance peuvent contrôler les fréquences radio (rf) générées dans l'écartement soit en recevant une radiation

depuis l'écartement, soit en obtenant des signaux de fréquences radio à l'aide de connexions sur la pièce à usiner et/ou sur l'électrode. Un niveau de fréquences radio élevé indique un jaillissement d'étincelles dans l'écartement et un faible niveau indique un arc.

De manière à s'assurer qu'une décharge porteuse de courant se produit, les moyens de positionnement comprennent de préférence un servomécanisme de commande de l'écartement entre l'électrode et la pièce à usiner. De préférence, le servomécanisme commande l'écartement pour avoir une valeur comprise dans la plage entre 10 et 250 μ , une valeur caractéristique étant $40 \pm 10 \mu$.

L'électrode à fil métallique peut être formée à partir de fils métalliques rigides, ou à partir de fils métalliques flexibles mais, lorsque l'on utilise ces derniers, ils sont maintenus sensiblement tendus.

Les moyens d'interposition d'un électrolyte dans l'écartement peuvent comprendre des moyens pour entourer l'électrode à fil métallique dans la région de la pièce à usiner avec une couche d'un électrolyte liquide. Par exemple, le fil métallique peut être amené au travers d'ajutages de chaque côté de la région dans laquelle le positionnement de la pièce à usiner est prévu et un ou deux ajutages peuvent, en plus de leurs fonctions d'alimentation du fil métallique, être aussi connectés à des moyens de projection d'un électrolyte le long du fil métallique.

La présente invention peut être utilisée de manière avantageuse dans des applications telles que le perçage de trous et la trépanation, l'amélioration du fini de surface (l'enlèvement de barbares), le tournage et le coupage de fils et le broyage à disques. Dans le perçage de trous, les vitesses d'alimentation peuvent être augmentées depuis moins de 2 jusqu'à entre 15 et 25 mm/min ou d'avantage. Pour l'aplanissement de surfaces, l'usinage ECM souffre du désavantage qu'il y a une perte considérable de métal de la totalité du corps usiné (perte de matière). De même, la dimension (hauteur) des barbares qui peuvent être traitées est limitée à environ 0,4 mm. Avec l'usinage ECAM, le problème de la perte de métal brut peut être réduit et les barbares d'environ 1 mm de hauteur peuvent être enlevées. L'avantage de l'usinage ECAM dans le coupage de fils métalliques réside dans les améliorations de la vitesse de coupage en comparaison au coupage de fils métalliques par le procédé EDM.

Certains modes de réalisation de l'invention seront maintenant décrits, à titre d'exemple, en référence aux dessins d'accompagnement, dans lesquels:

la fig. 1 est un dessin schématique d'un appareil ECAM,
les fig. 2a et 2b sont des formes d'ondes idéalisées se produisant avec les machines du procédé EDM de l'art antérieur,
les fig. 3a et 3b sont des formes d'ondes idéalisées se produisant dans l'appareil de la fig. 1,

la fig. 4 est un diagramme d'un circuit qui peut être utilisé pour commander une partie de l'appareil de la fig. 1,

la fig. 5 est un dessin schématique d'un appareil de coupe-fils selon l'invention,

la fig. 6 est une vue dans le sens du fil dans le procédé ECAM de coupe-fils selon l'invention.

Dans la fig. 1, une pièce à usiner 10 supportée par un dispositif de support ou en base 11 est immergée dans un réservoir 12 contenant un électrolyte fort 13 qui peut par exemple être une solution de chlorure de sodium, une solution de nitrate de sodium ou une solution de silicate de sodium. Un outil 14 est maintenu adjacent à la pièce à usiner 10 par un mécanisme d'alimentation de tête 15 avec un support 16 entre la partie de travail du mécanisme et l'outil 14.

Une pompe 19 illustrée schématiquement aspire l'électrolyte fort par le haut du réservoir 12 et le fait passer vers un ajutage 21 qui dirige l'électrolyte au travers de l'écartement entre l'électrode et la pièce à usiner. La chute de pression de la droite vers la gauche sur l'écartement devrait être probablement entre 3 et 80 bar, d'une manière caractéristique 25 bar, de manière à donner une chasse à la matière enlevée de la pièce à usiner. Etant donné que la vitesse d'enlèvement de la matière est beaucoup plus élevée que dans le procédé EDM, des pressions beaucoup plus élevées sur l'écartement sont requises.

L'utilisation d'un électrolyte fort signifie que le réservoir 12, la pompe 19 et les canalisations ne doivent pas être soumis à une corrosion de la part de l'électrolyte. Des matériaux tels que de l'acier inox peuvent être utilisés, ou des peintures de protection appropriées peuvent recouvrir des parties exposées.

Au lieu d'appliquer une tension unidirectionnelle continue d'intensité constante entre l'outil et la pièce à usiner comme dans le procédé ECM, des impulsions de tension provenant d'un générateur d'impulsions 17 et ayant une plage de rapport durée/espace identique à celui utilisé dans le procédé EDM sont appliquées sur l'écartement entre l'outil et la pièce à usiner. L'outil est connecté en qualité de cathode et la pièce à usiner est connectée en qualité d'anode de telle sorte que l'action électrolytique enlève de la matière de la pièce à usiner.

Dans un dispositif, un générateur d'impulsions 17 envoie des impulsions unidirectionnelles, chacune d'elles ayant une forme identique à une moitié d'onde sinus. Le mécanisme d'alimentation de tête fait alors osciller l'outil vers et en éloignement de la pièce à usiner à une fréquence caractéristique de 100 Hz avec une amplitude caractéristique de 0,5 mm, et l'oscillation est synchronisée avec le générateur d'impulsions 17 à l'aide d'une connexion 18 de telle sorte qu'une tension maximale est appliquée lorsque l'écartement est minimal. Des impulsions d'ondes carrées peuvent être utilisées lorsqu'il n'y a pas de synchronisation ou que les écartements dans la forme d'onde sont synchronisés avec une dimension d'écartement maximal.

Dans un autre dispositif, la tête commandée ne fait pas osciller l'outil 14 mais le fait simplement avancer vers la pièce à usiner au fur et à mesure que du métal est enlevé de la pièce à usiner. Dans ce cas, l'électrolyte 13 peut être considéré comme étant stagnant.

Dans certaines circonstances, on ne fait pas osciller l'outil 14, mais néanmoins l'écartement nécessite une chasse pour enlever les débris et les gaz. Cela peut être obtenu par des procédés déjà connus dans l'usinage ECM et dans l'usinage EDM à l'aide de moyens de chasse (non illustrés) qui pompent l'électrolyte au travers de l'écartement.

Comme dans le procédé EDM, il existe un danger que les décharges dans l'écartement dégèrent et se transforment d'étincelles en arcs, et le courant de haute intensité qui passe alors peut endommager à la fois la pièce à usiner et l'outil. Pour surmonter ce problème, des moyens de surveillance 20 sont connectés au générateur d'impulsions pour interrompre l'application de la tension lorsqu'un arc est imminent ou a juste commencé. Le moyen de surveillance peut recevoir des signaux de fréquences radio (rf) provenant de l'écartement soit par radiation, soit par connexion directe sur la pièce à usiner et/ou sur l'électrode, et interrompt la tension appliquée lorsque le niveau du signal (rf) tombe de manière significative. Le jaillissement d'étincelles génère un signal de fréquences radio d'amplitude beaucoup plus élevée que les arcs et une chute du niveau du signal de fréquences radio indique le début d'arcs. Par contre, le moyen de surveillance peut recevoir des signaux audio lorsqu'une réduction du niveau audio est une indication du début d'arcs. Le circuit de contrôle décrit dans la demande de brevet PCT GB N° 78/00051 destiné à être utilisé dans un procédé EDM peut être utilisé dans ce mode de réalisation de la présente invention.

Un moyen de surveillance plus simple peut être utilisé, dans lequel soit la tension, soit le courant de l'écartement ou intervalle entre les électrodes est comparé à une référence, l'application d'une tension sur l'écartement étant interrompue lorsque cette tension est inférieure à une tension de référence ou que l'intensité du courant de l'écartement entre les électrodes est supérieure à l'intensité d'un courant de référence, étant donné que la tension tombe et que le courant augmente lorsque les étincelles changent pour se transformer en arcs.

Le présent inventeur a découvert qu'une décharge se produit dans un électrolyte de nitrate de sodium sur des intervalles ou écartements d'une grandeur 90 à 100 μ pour des impulsions simples, lorsque la tension a un maximum de 80 V environ. Par contraste, pour le procédé EDM utilisant un diélectrique, un intervalle ou écar-

tement d'environ 5 μ serait utilisé avec une tension de 80 V. En cours d'usinage, ces valeurs de l'écartement sont susceptibles d'augmenter pour les électrolytes et les diélectriques. Différents électrolytes modifient les proportions du procédé ECM et du procédé EDM dans une impulsion. Antérieurement, on avait pensé que, avec des tensions de cet ordre, il était nécessaire que l'électrode ou une électrode intermédiaire soit en contact avec la pièce à usiner avant que les décharges porteuses de courant ne se produisent.

L'outil illustré dans la fig. 1 possède une projection semi-sphérique et une projection en forme de cône et, au fur et à mesure que l'usinage se poursuit, une forme complémentaire est obtenue dans la pièce à usiner 10. Etant donné que l'action chimique au niveau de l'outil cathodique 14 est la production de gaz seulement, aucune usure ne se produit, qui soit due au procédé ECM. Dans la pièce à usiner 10, la majeure partie du courant s'écoule dans la région où l'outil est proche de la pièce à usiner, de telle sorte que la plupart du métal est enlevée des projections. Cependant, une certaine action électrolytique a lieu en d'autres endroits et il y a une petite extraction de matière qui se fait dans la partie restante de la pièce à usiner. Etant donné que le procédé EDM enlève du métal par un procédé de fusion et de vaporisation dû à la chaleur de la décharge, à la fois l'outil et la pièce à usiner perdent du matériau. Cet effet est minimisé dans le procédé EDM par un choix correct de la matière de l'outil, mais néanmoins, dans un procédé EDM pur, un arrondissement très appréciable de la projection conique se produirait. En utilisant le procédé ECAM, l'enlèvement de matière ainsi que l'usure de l'outil sont réduits.

La fig. 2a illustre une forme d'onde de tension idéalisée d'une impulsion simple appliquée à l'écartement électrode-pièce à usiner dans le procédé EDM. La tension appliquée à l'écartement est initialement élevée, à la valeur du circuit ouvert, comme illustré en 22, mais tombe considérablement jusqu'à la valeur indiquée en 23, lorsque les étincelles se produisent. Le courant qui passe par l'écartement ou espace est illustré dans la fig. 2b. La tension de l'écartement reste alors très vaguement constante jusqu'à ce que l'impulsion soit enlevée en 24. Des formes d'ondes correspondantes de tension et de courant pour une impulsion simple dans le procédé ECAM sont illustrées dans les fig. 3a et 3b.

Une période 25 d'oscillations rapides de tension et de courant se produit immédiatement lors de l'application d'une tension sur l'écartement, signifiant éventuellement la formation de bulles de gaz par action chimique et/ou échauffement de Joule. Le procédé ECM a lieu et se poursuit pendant un intervalle 26 mais, au fur et à mesure que du gaz continue de se former, la tension augmente et l'intensité du courant tombe jusqu'à ce que, dans un intervalle 27, l'écartement agisse comme un isolateur à cause de la pression du gaz ou de la vapeur (intervalle 27). Le gaz ou la vapeur joue le rôle d'un diélectrique sur lequel se produit la rupture. Cependant, la conduction électronique diminue dans l'intervalle de temps 27 lorsque l'écartement est largement rempli de vapeur et cesse lorsqu'il y a décharge disruptive de la vapeur au temps 28. Après cet intervalle de temps, des étincelles se produisent dans l'écartement et le courant 29 passe. Le courant qui passe jusqu'au moment 28 est donc électrolytique, tandis que le courant qui s'écoule après est un courant de décharge, le tout formant une impulsion ECAM. Cet exemple d'une impulsion simple peut donner des indications sur les impulsions multiples ECAM.

La production de vapeur dans l'écartement est favorisée par le choix de l'électrolyte qui génère des bulles de gaz par action chimique. Une solution de chlorure de sodium produit une grande quantité d'hydrogène; du nitrate de sodium produit peu d'hydrogène, mais d'autres gaz, tels que l'ammoniaque, laquelle favorise aussi les étincelles.

Antérieurement, l'avance de l'outil vers la pièce à usiner dans le procédé ECM et dans le procédé EDM était généralement effectuée par l'entraînement de l'arbre 16 à l'aide d'un moteur pas à pas, mais ce système ne permettait qu'une vitesse d'avance fixe prédéterminée et ne prévoyait pas la variation de la dimension de l'écartement due

à la variation de la vitesse d'enlèvement de la matière. Dans le procédé ECAM, une commande adaptée de la vitesse d'avance de la cathode est avantageuse, étant donné que l'érosion des pointes des lobes tend à être rapide à cause des densités élevées de courant dues aux petites surfaces, tandis que l'érosion des racines des lobes est plus lente à cause des densités de courant inférieures.

La fig. 4 illustre un servomécanisme de commande d'un moteur pas à pas 31 qui peut être celui utilisé dans un mécanisme d'alimentation de tête du type illustré en 15 dans la fig. 1. La tension de commande est obtenue à partir d'une résistance 32 en série avec l'écartement entre la pièce à usiner 10 et l'outil 14. Le courant dans l'écartement est directement proportionnel à la dimension de l'écartement et ainsi la tension développée sur la résistance 32 est proportionnelle à la dimension de l'écartement. Cette tension est filtrée à l'aide d'un condensateur 33 et d'une résistance 34 et elle est appliquée à un amplificateur opérationnel 35 qui reçoit aussi une tension de référence réglable provenant d'un potentiomètre 36. Alors que la tension sur la résistance 32 est suffisamment élevée pour fournir une tension à l'amplificateur opérationnel 35 supérieure à celle provenant du potentiomètre 36, un circuit monostable 37 est empêché de se déclencher et par conséquent de valider une porte ET 38. Le circuit monostable 37 comprend des éléments capacitifs et résistants qui assurent une durée d'impulsions appropriée. Un générateur d'ondes carrées 40 génère une onde carrée appropriée pour entraîner le moteur pas à pas 31 et ces impulsions atteignent le moteur pas à pas lorsque la porte 38 est validée; sous ces conditions, l'outil 14 est avancé vers la pièce à usiner 10 à une vitesse constante.

Ainsi, la dimension de l'écartement augmente, la tension appliquée à l'amplificateur opérationnel 35 tombe jusqu'à ce qu'elle soit sous la tension de référence provenant du potentiomètre 36. A ce moment, le circuit monostable 37 reçoit une modification de tension et est déclenché pour fournir une impulsion qui valide la porte ET 38. Par conséquent, le moteur pas à pas est excité et l'écartement est réduit.

L'ajustement du potentiomètre 36 règle la dimension de l'écartement outil-pièce à usiner.

La construction d'un circuit selon la fig. 4 peut s'effectuer d'après ce qui suit:

Un amplificateur opérationnel Signetics du type μ 741 est pris comme amplificateur 35, un multivibrateur monostable Signetics du type S74121 est pris comme circuit monostable 37, une porte ET Signetics du type S5408 joue le rôle de la porte 38, un générateur TWG du type 500 fait office de générateur d'ondes carrées 40 et un moteur Sigma du type 20222 3D 200F 1.4 est choisi. Une machine coupe-fil ECAM est illustrée schématiquement dans la fig. 5 où une pièce de travail 42 est illustrée avec une fente 43 partiellement coupée par un fil 44. Le fil est fourni à partir d'une bobine 45, passe par-dessus des guides 46 et 47 et arrive dans une bobine réceptrice 48. De manière à former une couche électrolytique coaxiale autour du fil, le fil passe au travers d'un organe 50 qui comprend deux ajutages 52 et 53 dans lesquels un électrolyte est pompé, par des moyens non illustrés, dans le sens des flèches 54 et 55. En émergeant depuis ces ajutages dans un alésage central au travers duquel le fil 44 passe également, le courant d'électrolyte est converti en une colonne descendante entourant le fil. Alternativement, en particulier lorsque la pièce de travail ou à usiner est comparativement mince, l'électrolyte peut être chassé sur le fil depuis un ajutage positionné en faisant un angle par rapport au fil.

Comme pour le dispositif à outil fixe illustré ci-dessus, il n'y a pas besoin de contact entre le fil et la pièce à usiner pour que les décharges électriques se produisent.

Le mécanisme de transport et de tension du fil est semblable à celui utilisé dans le procédé EDM de coupe-fil, mais les pressions et les vitesses de l'électrolyte sont, dans cet exemple, entre 2 et 400 kN/m² et de 2 à 4 m/s respectivement. Des diamètres appropriés du fil sont compris dans la plage allant de 0,05 à 1 mm, de préférence 0,25 mm environ. La dimension de l'écartement entre le fil et la pièce à usiner est commandée conjointement avec des moyens de

déplacement de la pièce à usiner par rapport au fil pour couper une forme requise. Des moyens appropriés sont connus pour des machines coupe-fil dans le procédé EDM mais, en général, des modifications pour obtenir un écartement approprié de l'ordre de 10 à 250 μ sont nécessaires.

Des impulsions rectangulaires avec des rapports variables durée/espace, ou des alimentations de courant alternatif redressé du secteur, soit des demi-ondes, soit des ondes totales, peuvent être appliquées entre le fil et la pièce à usiner. Une tension appropriée est de l'ordre de 15 à 250 V, d'une manière caractéristique 80 V, et le courant maximal caractéristique est 30 A. Une alimentation de courant continu peut être utilisée pour la finition lorsqu'une tension inférieure ou un écartement outil-électrode/pièce à usiner est approprié pour empêcher une décharge et assurer seulement une action électrolytique. Cependant, dans la plupart des procédés de coupe-fil, une telle finition n'est pas nécessaire, étant donné, comme cela est illustré dans la fig. 6, que le procédé ECAM a lieu en avant du fil 44 dans la zone 57 et que l'action ECM a lieu à côté du et derrière le fil dans les zones 58.

En général, là où le procédé ECAM a été utilisé pour enlever du métal d'une pièce à usiner, on peut utiliser le procédé ECM à une tension inférieure pour obtenir un bon fini de surface.

L'oscillation de l'électrode en fil, de la pièce à usiner, ou d'une électrode auxiliaire est parfois utile pour dégager les débris et les excès de gaz de l'écartement.

Dans le coupage de fil, des moyens de contrôle du type décrit en rapport à la fig. 1 peuvent être utilisés pour commander l'enlèvement de la tension de l'écartement lorsqu'un arc est imminent ou se produit à l'instant même.

En plus d'une utilisation traditionnelle dans un atelier, l'invention, en particulier le coupage de fil par le procédé ECAM, se révèle utile pour le coupage sous l'eau, par exemple dans l'industrie du pétrole où l'eau de mer, composée essentiellement de 3% d'une solution de chlorure de sodium, constitue l'électrolyte. La position de l'électrode doit être commandée de manière précise, par exemple suivant l'une des manières indiquées ci-dessus. La pièce de travail peut être structurelle, par exemple une partie d'une tour d'exploitation du pétrole. Une unité hermétique de puissance pour appliquer une tension et pour surveiller l'arc est alors située sous l'eau à proximité de la pièce à usiner.

Dans de nombreux cas, il se peut qu'il ne soit pas approprié d'obtenir ou de construire une machine ECAM dans un but spécial et donc le procédé utilisant une machine traditionnelle EDM peut être utilisé. Le système de commande d'une telle machine fonctionne en contrôlant l'impédance de l'écartement. En utilisant un diélectrique, cette impédance est très élevée jusqu'au début des étincelles. Si le diélectrique est remplacé par l'électrolyte, la commande dirige la tête vers le bas jusqu'à ce que l'électrode atteigne la surface du fluide. En ce point, il s'arrête à cause de la faible impédance entre l'électrolyte et la pièce à usiner et ne pénètre pas dans la surface du fluide.

Pour éviter des modifications majeures du système de commande, un réservoir en métal non corrosif est placé sur la table d'une machine standard EDM, et la pièce à usiner est placée à l'intérieur. Un électrolyte tel qu'une solution de chlorure de sodium 3M est versé jusqu'à ce que la surface de la pièce à usiner se trouve à environ 1 mm sous la surface de l'électrolyte, et on ajoute de la paraffine jusqu'à ce que la pièce à usiner se trouve à environ 80 mm sous la surface supérieure de la paraffine. On laisse alors reposer le mélange, et la paraffine, étant moins dense que l'électrolyte, forme une couche supérieure au-dessus de l'électrolyte. Le but de la paraffine est d'empêcher la fine couche d'électrolyte de s'évaporer par ébullition pendant l'usinage.

En fonctionnement, en utilisant par exemple une barre en graphite d'un diamètre de 30 mm comme électrode, le système de commande fait descendre l'électrode au travers de la paraffine jusqu'à ce que la surface de l'électrolyte soit atteinte. A ce moment, le courant commence à s'écouler, produisant un échauffement de Joule et du

gaz dans l'électrolyte, et l'usinage identique à l'usinage par le procédé EDM, mais avec un certain degré d'usinage par le procédé ECM, a lieu.

Dans un test effectué utilisant ce procédé, une cavité autour de 2,5 mm de profondeur fut usinée dans une pièce à usiner en acier plate, et le fini de surface avait l'apparence caractéristique de celui produit par le procédé EDM, mais avec une finition lisse ECM des cratères. La surface était également brillante, caractéristique du procédé ECM en utilisant un électrolyte de chlorure de sodium.

Le procédé fonctionne bien en utilisant un courant continu pulsé appliqué sur l'écartement comme dans le procédé traditionnel EDM. Une plage caractéristique des courants jusqu'à 50 A peut être utili-

sée, couvrant les opérations de finition et de dégrossissage. Des impulsions de faible courant (moins de 10 A) peuvent être fournies à 200 V et des courants d'intensité plus élevés à 85 V. Des impulsions de longues durées avec un faible facteur de travail semblent être préférables lorsqu'on procède à un usinage avec une alimentation pulsée.

Comme alternative au courant continu pulsé, une tension appliquée en continu sur l'écartement semble être avantageuse, la tension étant interrompue lorsque le début d'un arc est détecté par exemple par un contrôle de fréquences radio. Un procédé EDM de ce type qui peut être modifié pour être approprié au procédé ECAM est décrit dans la demande de brevet PCT GB N° 78/00051.

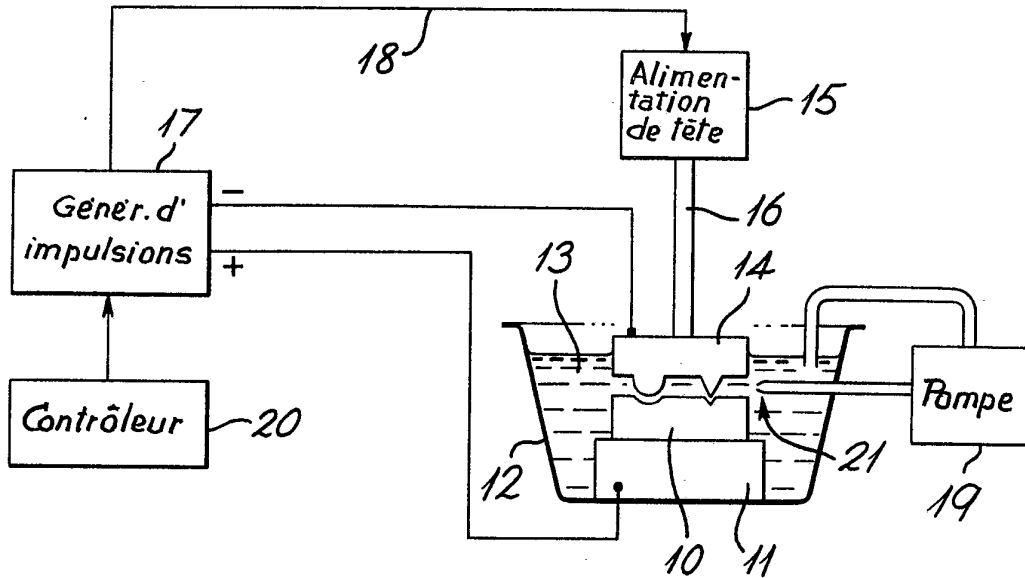


Fig. 1

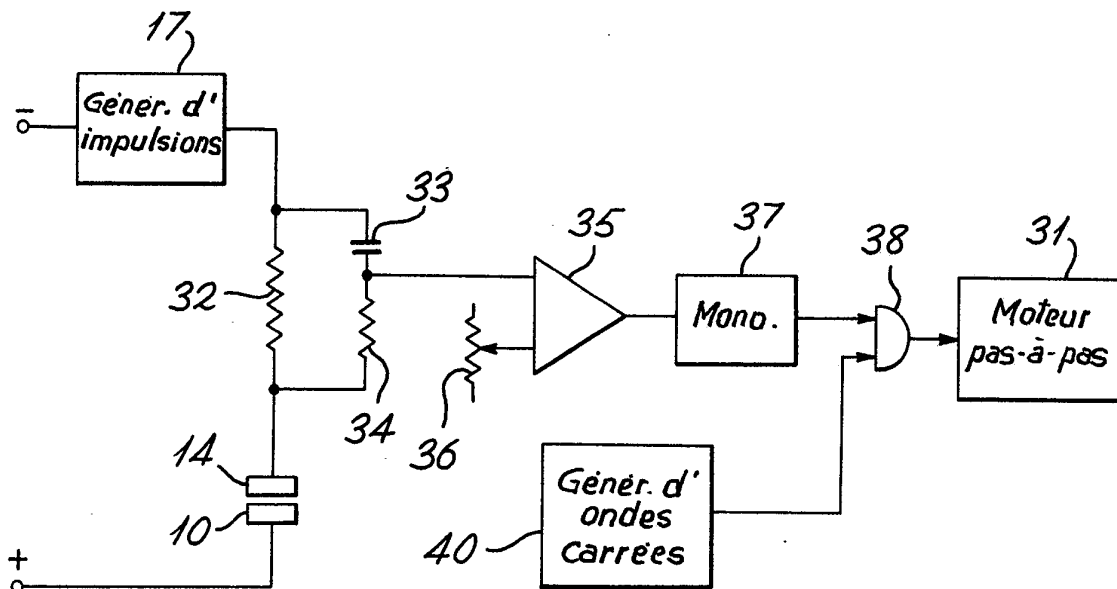


Fig. 4

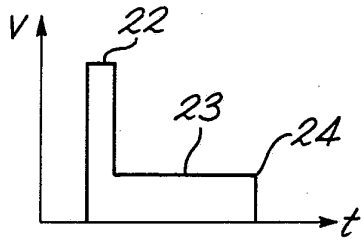


Fig. 2a

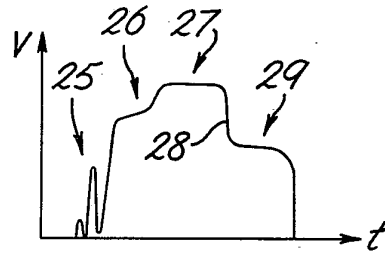


Fig. 3a

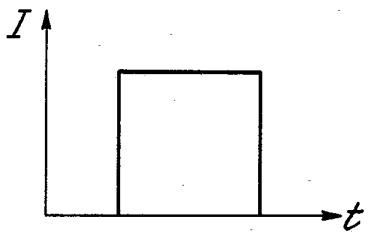


Fig. 2b

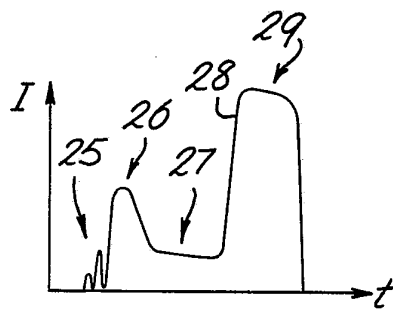


Fig. 3b

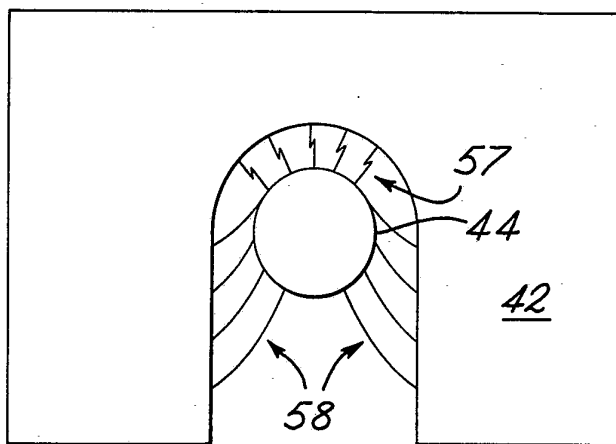


Fig. 6

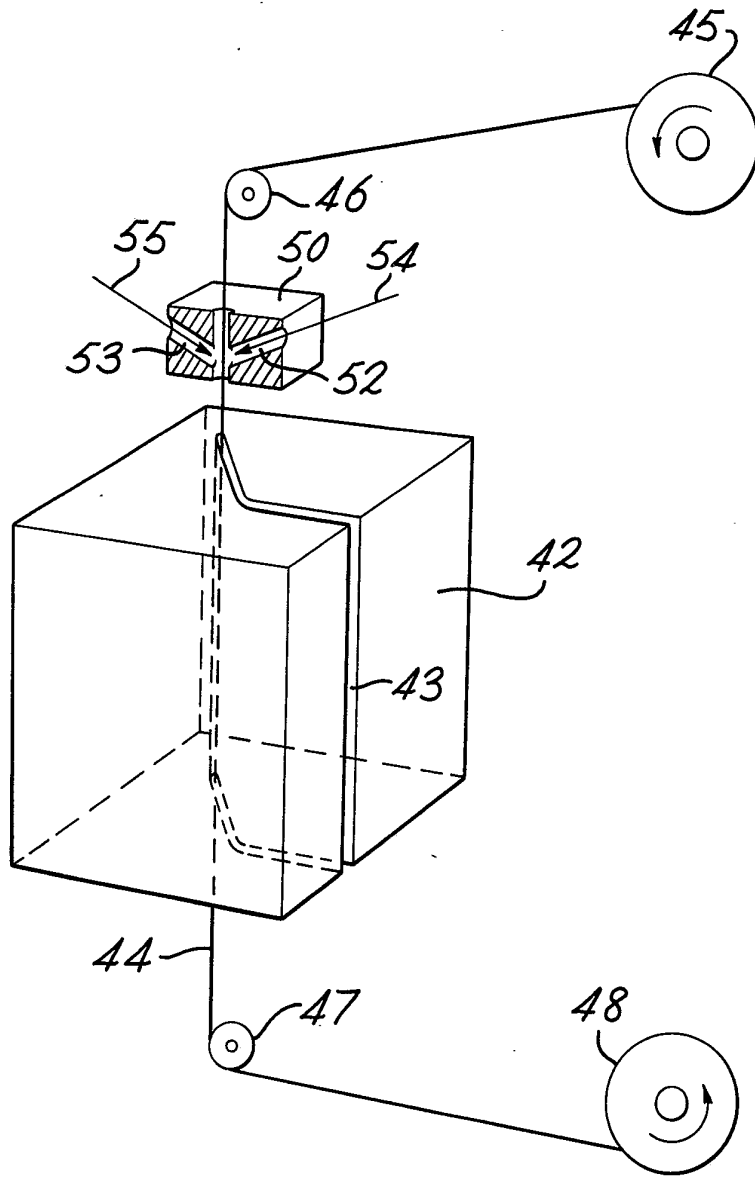


Fig. 5