



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑤① Int. Cl.³: B 23 P 1/12
B 21 C 25/10

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

⑪

633 470

⑫① Numéro de la demande: 4933/79

⑫② Date de dépôt: 28.05.1979

⑫③ Priorité(s): 01.06.1978 FR 78 17224

⑫④ Brevet délivré le: 15.12.1982

⑫⑤ Fascicule du brevet
publié le: 15.12.1982

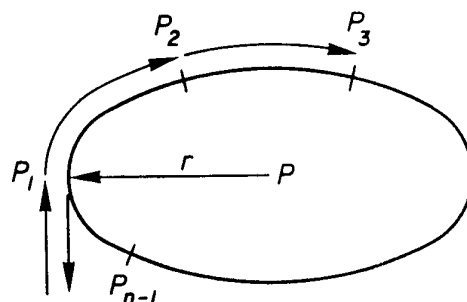
⑫⑥ Titulaire(s):
Société de Transformation de l'Aluminium
Péchiney "Cegedur", Paris 8e (FR)

⑫⑦ Inventeur(s):
Gérard Izari, Montreuil Juigne (FR)

⑫⑧ Mandataire:
William Blanc & Cie conseils en propriété
industrielle S.A., Genève

⑫⑨ **Procédé d'usinage par électro-érosion.**

⑫⑩ Pour l'usinage par électro-érosion d'une filière d'extrusion des métaux comportant un orifice cylindrique au moyen d'une électrode en déplacement par rapport à la filière, on réalise une première passe d'ébauche rapide par descente de l'électrode parallèlement aux génératrices de l'orifice et remontée. On opère, ensuite, une translation de l'électrode perpendiculairement aux génératrices d'une distance r et on fait descendre l'électrode à régime plus faible et on remonte, on opère une translation circulaire de rayon r , vu en perspective, on fait descendre et remonter l'électrode, et on répète l'opération n fois de manière à opérer un tour complet.



REVENDECATIONS

1. Procédé d'usinage par électro-érosion d'une pièce comportant un orifice cylindrique, au moyen d'une électrode unique en déplacement relatif par rapport à la pièce, caractérisé en ce qu'on réalise une première passe d'ébauche rapide, par mouvement relatif de descente, puis de remontée, de l'électrode, par rapport à la pièce, parallèlement aux génératrices de l'orifice à étinceler, on opère une translation relative de l'électrode, par rapport à la pièce, perpendiculairement aux génératrices d'une distance constante (r), de sorte qu'un point (P) de l'électrode arrive en un point (P_1) du voisinage de la périphérie de l'orifice, on confère à l'électrode un mouvement relatif de descente, puis de remontée, par rapport à la pièce, dans l'orifice ébauché parallèlement aux génératrices, on opère une translation relative de l'électrode par rapport à la pièce, entre deux points (P_1 et P_2) d'un cercle situé dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'orifice à usiner, on confère à l'électrode un mouvement relatif de descente, puis de remontée, par rapport à la pièce, parallèlement aux génératrices, et on répète les opérations à plusieurs reprises jusqu'à ce que la translation relative de l'électrode par rapport à la pièce corresponde à un tour complet.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la descente de l'électrode après translation se fait à régime identique à ou plus faible que celui de la passe d'ébauche.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on exécute au moins une étape de semi-finition avec n passes d'étincelage et une translation circulaire de rayon r et au moins une étape de finition à régime plus faible avec n' passes d'étincelage et une translation circulaire de rayon r' , n' et r' étant respectivement supérieurs à n et r .

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'on fait descendre l'électrode plus profondément dans l'orifice au cours des étapes successives d'ébauche, de semi-finition et de finition.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'on fait sortir l'électrode complètement sous l'orifice étincelé.

6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la translation de l'électrode entre P_1 et P_2 , puis entre P_2 et P_3 ... P_{n-1} et P_n , est une translation circulaire latérale.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que c'est la pièce à usiner qui subit un mouvement de translation latérale alors que l'électrode ne se déplace que longitudinalement.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la circulation du liquide diélectrique se fait par aspiration au cours de la finition.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comporte, au cours de la finition, une phase de dégazage à périodicité réglable par retrait vers le haut de l'électrode.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il est pratiqué sur des pièces ayant subi un traitement thermique préalable.

11. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on réalise avec la même électrode plusieurs orifices rigoureusement identiques en augmentant les valeurs de r jusqu'à la valeur de l'usure des faces latérales de l'électrode après l'usinage de l'orifice précédent.

12. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de suspension de l'électrode ayant une section plus faible que celle de l'électrode, de manière à pénétrer dans l'orifice étincelé.

13. Application du procédé selon la revendication 1 à l'usinage des portées et des dépouilles des filières d'extrusion des métaux.

14. Application selon la revendication 13 à l'usinage de filières d'extrusion de produits tubulaires, comportant une pièce formant l'extérieur de l'orifice annulaire et une pièce formant le noyau intérieur, caractérisée en ce que les deux pièces sont assemblées avant usinage.

La présente invention concerne un procédé d'usinage par électro-érosion d'une pièce comportant un orifice cylindrique, et plus particulièrement d'une filière d'extrusion des métaux.

L'usinage par électro-érosion (ou étincelage) consiste à produire au travers d'un liquide diélectrique, par exemple un hydrocarbure, des étincelles entre une électrode conductrice de forme complémentaire à l'enlèvement de matière à obtenir sur l'ébauche à usiner.

On sait que les surfaces obtenues par étincelage présentent une certaine rugosité, d'autant plus élevée que le régime de travail (ou d'enlèvement de matière) est lui-même plus élevé, donc l'usinage plus rapide; et que, d'autre part, l'électrode utilisée s'use plus ou moins selon le régime choisi, l'usure ayant tendance à être plus importante lorsqu'on cherche à obtenir des rugosités plus faibles.

Lorsqu'on usine une empreinte par électro-érosion, il n'est pas possible d'obtenir directement une faible rugosité de la surface étincelée du fait que les faibles régimes nécessaires conduiraient à des débits d'enlèvement de matière trop petits, donc à des temps d'usinage excessivement longs. Il n'est pas possible, d'autre part, d'obtenir directement la forme correspondante à cause de l'usure de l'électrode au cours du travail, mais aussi à cause des problèmes de circulation du diélectrique (parfois circulation quasi inexistante ou, le plus souvent, en sens contraire de la pénétration de l'électrode pour les régimes moyens ou rapides), tous ces éléments ayant tendance à évaser l'empreinte réalisée. Ainsi, une électrode cylindrique conduit généralement à une empreinte conique. On est donc amené à utiliser successivement plusieurs électrodes, souvent trois, pour l'ébauchage, la semi-finition et la finition, les deux dernières diminuant progressivement la rugosité et la conicité de l'empreinte grâce à l'utilisation de régimes de plus en plus faibles. Le sous-dimensionnement des électrodes utilisées successivement, par rapport à l'empreinte finale à obtenir, est de plus en plus petit, de manière à tenir compte de ce qu'on appelle en électro-érosion la différence entre les lignes de passe ou de passage, et qui résulte de la quantité minimale de matière à enlever par une passe faite à un régime donné pour effacer totalement (en la remplaçant par une plus faible) la rugosité obtenue à la passe précédente de régime plus élevé, et des distances de travail entre électrode et pièce pour chacun des deux régimes différents considérés. On peut également, dans le même but, utiliser pour une même empreinte, de préférence débouchante, une électrode longue et étagée présentant les différents sous-dimensionnements correspondant aux différents régimes et lignes de passes choisis pour l'ébauchage, la semi-finition et la finition. Lorsque l'électrode a une forme compliquée, et qu'on ne peut accepter le risque de difficulté de réalisation et de réglage ainsi qu'un coût élevé, une autre solution doit être recherchée. La pratique courante de l'homme de l'art consiste alors, quand c'est possible, à opérer un compromis pour ne faire qu'une passe d'étincelage assez rapide pour obtenir un débit acceptable, mais en évitant d'avoir une géométrie et une rugosité trop grossières.

De toute manière, avec ce compromis, la géométrie et la rugosité obtenues restent insuffisantes, ce qui nécessite, par exemple pour les filières d'extrusion, une finition à la lime longue et délicate, d'autant plus qu'elle se situe après les traitements thermiques qui interviennent après l'étincelage pour en atténuer l'effet durcissant, ces traitements thermiques provoquant inévitablement des déformations.

Cependant, différents autres systèmes ont été mis au point pour apporter une meilleure solution à certains problèmes rencontrés dans le déroulement de l'étincelage et, en particulier, pour faire plusieurs passes avec la même électrode. Il s'agit de systèmes permettant de communiquer à l'électrode (ou à la pièce devant recevoir l'empreinte) un mouvement continu de translation circulaire latérale de rayon r , réglage de 0 à une certaine valeur, pour tenir compte des différentes lignes de passes, ou tout autre déplacement latéral contrôlé et réglable, cette faculté de réglage pouvant être utilisée à diverses fins (amélioration des conditions d'usinage par un meilleur lavage de l'espace électrode-pièce et amélioration de la réponse aux courts-circuits par exemple) et, en particulier, à certaines étapes de

l'avancement du travail d'étincelage pour remplacer l'action des différentes électrodes successives, les possibilités offertes par ces systèmes pouvant être mises en œuvre selon différentes méthodes.

Une première méthode consiste à exécuter d'une façon complètement séparée dans le temps les opérations de descente (en premier) et de translation circulaire continue (en second). Lorsque l'électrode est en place dans l'empreinte qu'elle a préalablement réalisée, le mouvement de descente de la broche de la machine est bloqué de façon à pouvoir étinceler en utilisant uniquement le mouvement continu de translation circulaire. Ce mouvement se fait avec une variation progressive du rayon r du cercle de translation, qui, partant de zéro, est augmenté par incréments de l'ordre de 0,01 mm en suivant à vue l'avancement du travail selon l'état des paramètres tension et intensité du courant d'étincelage, jusqu'à atteindre une valeur préalablement déterminée en fonction des régimes et lignes de passe choisis, et cela en une ou plusieurs étapes selon le nombre de régimes retenus pour atteindre l'état de finition désiré. Cette augmentation se fait par un moyen quelconque (électrique ou autre), mais à partir d'une commande manuelle indépendante qui peut être à impulsions, et ne pourrait s'automatiser qu'au prix d'un appareil de régulation sophistiqué. En effet, il est nécessaire, dans toute opération d'électro-érosion, que la distance électrode-pièce soit réglée en permanence avec précision, et cela d'autant plus qu'on s'approche des régimes de finition. Si la distance est trop grande, l'étincelage n'a pas lieu et, si elle est trop courte, il se produit un court-circuit entre l'électrode et la pièce et on est obligé d'arrêter l'opération pour nettoyer les surfaces. Ainsi, en l'absence d'un système de régulation — qui existerait s'il n'y avait qu'une simple descente — le travail mobilise en permanence un opérateur, est très délicat à conduire et n'a qu'un débit moyen très faible par rapport aux débits moyens d'enlèvement de matière normalement obtenus en travail classique en descente, et cela plus particulièrement dans les régimes de semi-finition ou de finition.

Un autre inconvénient est que, dans la phase de translation circulaire, l'électrode a un niveau fixe et qu'elle transmet donc sa forme propre, usure comprise, à la paroi érodée.

Une seconde méthode consiste à étinceler en exécutant les deux opérations de descente et de translation circulaire continue simultanément, la valeur de r étant constante pendant toute la descente et préalablement réglée en fonction des régimes et des lignes de passes choisis, l'opération pouvant être répétée plusieurs fois avec des valeurs de r de plus en plus élevées selon le nombre de régimes et de passages retenus pour atteindre l'état de finition désiré. Cette méthode pose un certain nombre de problèmes difficiles, qui ne peuvent être résolus qu'avec l'aide d'un système sophistiqué d'asservissement intégré à l'ensemble. En effet, l'empreinte à obtenir étant le plus souvent de forme quelconque et non circulaire, la quantité de métal à enlever n'est pas répartie uniformément dans chacun des secteurs élémentaires balayés par le mouvement de translation circulaire (de l'électrode ou de la pièce à usiner), si bien que la descente ne peut s'effectuer à la même vitesse en tous les points de la trajectoire de ce mouvement. De ce fait, la profondeur à laquelle doit travailler l'électrode varie constamment le long de la trajectoire de translation circulaire et, comme la distance électrode-pièce doit être réglée avec précision, le système de régulation en descente de cette distance, existant normalement sur toute machine d'étincelage, recherche en permanence la valeur idéale, mais ne la trouve que très rarement. Dans ces conditions, en raison des courts-circuits possibles ou des distances électrode-pièce anormalement élevées, les temps morts sont importants, et la vitesse moyenne d'étincelage est limitée à quelques unités en pourcentage de sa valeur normale. D'autre part, l'érosion de l'empreinte est souvent incomplète. En effet, au fur et à mesure de l'avancement de l'opération, les écarts de profondeur de travail de l'électrode ont tendance à s'accroître et, quand la zone étincelée la plus rapidement est terminée, l'électrode débouche dans le vide à cet endroit. La régulation de la descente de l'électrode fait que la vitesse de descente augmente jusqu'à la fin de course, ce qui arrête l'opération. Le mouvement de translation circulaire étant relativement lent, l'électrode et les secteurs du cercle de translation

où le travail était en retard, n'ont pas le temps de se trouver en concordance pour empêcher cet arrêt. En résumé, on peut dire, schématiquement, que l'électrode passe par le premier trou qu'elle rencontre sur la trajectoire circulaire et laisse son travail inachevé.

L'inconvénient ci-dessus, exposé dans le cas d'une empreinte débouchante, se présenterait à peu près dans les mêmes conditions pour une empreinte borgne.

Les différents inconvénients mentionnés dans cette deuxième méthode, encore plus particulièrement sensibles dans les empreintes à faces latérales parallèles ou faiblement coniques, sont en principe évités en ayant recours, ainsi que cela est indiqué plus haut, à un ensemble générateur d'étincelage, appareil de commande de la translation circulaire, et dispositif de régulation de la vitesse de descente de l'électrode, disposant d'une régulation nécessaire pour communiquer à chaque point de l'électrode une trajectoire inscrite sur la surface d'un cône à axe vertical et asservie aux conditions d'usinage, le rayon de giration instantané de chaque point de l'électrode n'étant donc pas parfaitement constant mais réglé, le rayon de la base du cône étant choisi selon les besoins de la gamme d'usinage (régimes et lignes de passes) et fixe pendant toute la descente, la vitesse de rotation autour de l'axe du cône étant asservie à la quantité de matière à enlever sur la trajectoire effectuée.

Ce système sophistiqué ne peut pas s'adapter facilement sur des machines classiques, et nécessite donc l'achat de machines nouvelles dans lesquelles le dispositif de translation circulaire et ses relations avec les autres fonctions de l'ensemble sont conçus d'une façon intégrée au départ.

Le procédé selon l'invention vise à remédier aux différents inconvénients mentionnés. A cet effet, le procédé selon l'invention présente les caractéristiques spécifiées dans la revendication 1. Il peut être mis en œuvre avec une tête d'alésage ou de translation circulaire (pour donner le mouvement voulu à l'électrode), ou avec un plateau porte-pièce à mouvement orbital (pour donner le mouvement voulu à la pièce à étinceler), ces différents matériels existant sur le marché, ou tout autre dispositif permettant de communiquer un déplacement latéral contrôlé à l'électrode ou à la pièce à usiner. Il est adaptable aux machines classiques d'électro-érosion, sous réserve de contraintes dimensionnelles pouvant éventuellement se présenter pour les plus petites, car il utilise uniquement la régulation de la distance électrode-pièce en descente qui existe normalement sur toutes ces machines. Il est, de ce fait, très facilement automatisable.

On peut obtenir une très bonne précision dans la géométrie désirée, même avec une électrode ayant déjà servi, à condition que son usure soit régulière, ainsi qu'une excellente perpendicularité de l'ouverture par rapport au plan de base de la pièce. La rugosité obtenue est très faible et peut disparaître avec un polissage classique léger et d'exécution rapide, ou avec un polissage sur machine à la pâte abrasive encore plus rapide. De ce fait, puisque aucune reprise importante n'est nécessaire, il est possible de faire l'usinage sur des pièces traitées thermiquement, ce qui évite d'être tributaire des déformations de trempe et des risques éventuels de décarburation superficielle.

Par ailleurs, ce procédé comporte d'autres avantages sur le plan général, mais qui peuvent s'appliquer plus particulièrement aux filières d'extrusion des métaux.

D'une part, pour les filières multiécoulements, la dispersion obtenue dans la géométrie des divers écoulements est très faible. D'autre part, pour les filières de profils tubulaires, il est possible de réaliser complètement l'assemblage précis de la filière et de la nourrice (ou pont) après les traitements thermiques, dans le but d'effectuer ensuite l'étincelage de l'ensemble monté, alors que ce n'est pas le cas si les traitements thermiques sont pratiqués après l'étincelage, car le montage effectué auparavant, quel qu'il soit, perd alors toute sa précision. Enfin, il est possible, avec la même électrode, de faire aussi l'étincelage de la dépouille de la filière.

Selon un mode de réalisation particulier du procédé, on réalise n passes de semi-finition avec une translation circulaire de rayon r , et n' passes de finition avec une translation circulaire de rayon r' tel que

r' soit légèrement supérieur à r . Il est avantageux, dans ce cas, de faire descendre l'électrode dans l'orifice plus profondément dans les passes de semi-finition que dans la passe d'ébauche et plus profondément, également, dans les passes de finition que dans les passes de semi-finition, en la faisant même sortir complètement sous l'orifice usiné à chaque fois que cela est possible, afin de garantir le parallélisme des faces étincelées. Dans les passes de finition, on fait circuler, de préférence, le liquide diélectrique par aspiration, ce qui améliore encore le parallélisme des faces de l'ouverture usinée.

Il peut être avantageux, dans certains cas, de procéder à une translation de rayon r avec le régime d'ébauche, les passes de semi-finition étant faites avec une translation de rayon r' et les passes de finition avec un rayon r'' . D'autre part, si le fait de procéder en trois étapes apparaît comme le plus classique, rien n'empêche, selon les besoins, de n'effectuer que deux étapes (ébauche, puis finition), ou bien un nombre plus élevé d'étapes, avec un rayon r de valeur toujours supérieure à chacune d'entre elles et un régime de plus en plus réduit, pour obtenir une rugosité de plus en plus faible. Les différentes valeurs de r sont toujours fonction des régimes et des lignes de passage choisies, sauf dans le cas où l'on utilise la translation circulaire avec un régime d'ébauche identique à celui de la première passe d'ébauche faite sans cette translation circulaire, et où la valeur de r ne dépend alors que de l'agrandissement que l'on veut faire subir à l'empreinte obtenue après la première passe d'ébauche. A noter que, si cet agrandissement est prévu dans la gamme de travail, on peut faire la première passe d'ébauche au choix, soit dans une position analogue à celle du point P , soit dans une position analogue à celle du point P_1 .

L'invention sera mieux comprise grâce à la description détaillée d'un mode de réalisation particulier, faite à titre d'exemple et au regard des figures annexées qui représentent respectivement :

- la fig. 1, une vue en coupe de la pièce avant usinage,
- la fig. 2, une vue en coupe de la pièce et de l'électrode à la fin de la passe d'ébauche,
- la fig. 3, une vue schématique, en perspective, montrant les mouvements de l'électrode au cours des opérations de semi-finition,
- la fig. 4, une vue en coupe de la pièce et de l'électrode à la fin des passes de semi-finition,
- la fig. 5, une vue en coupe de la pièce et de l'électrode à la fin des passes de finition.

Sur ces figures, les usures ont été représentées de manière fortement exagérée dans un but de meilleure compréhension du procédé.

On a représenté en fig. 1 une plaque métallique 1 destinée à la fabrication d'une filière d'extrusion comportant une face plane 2 dans laquelle on veut réaliser, par électro-érosion, un orifice de largeur C dont les faces sont parallèles et perpendiculaires au plan de base 2 qui constituera la portée de la filière et débouchant sur une ouverture plus large 3, préalablement usinée qui constitue la dépouille de la filière. Quand cela est possible, il est préférable d'usiner préalablement, par des moyens mécaniques classiques, un avant-trou 4 grossier.

On réalise ensuite un premier étincelage d'ébauche (voir fig. 2) pour lequel l'électrode 5 est centrée dans l'axe de l'orifice à usiner ou axe d'avance principal 6.

L'électrode descend alors le long de l'axe 6 jusqu'à ce que son extrémité pénètre dans la dépouille 3, d'une valeur légèrement supérieure à la hauteur de la zone présentant une usure. Cette première passe se fait aussi rapidement que possible, en choisissant un régime utilisant toute la puissance permise par la machine ou, le plus souvent, toute la puissance autorisée par la finesse de l'électrode ou certains détails. On remonte ensuite l'électrode en haut de la pièce et on opère une translation perpendiculaire à l'axe 6 telle qu'un point P se trouve en P_1 à une distance r (voir fig. 3 dans laquelle le cercle de rayon r apparaît sous la forme d'une ellipse). On entame alors la semi-finition qui va se faire avec un régime moyen. L'électrode descend parallèlement à l'axe 6 à un niveau plus bas que pour la passe d'ébauche, de manière qu'elle puisse travailler avec une partie

nouvelle et, après une remontée hors de la pièce, on opère une translation circulaire de cette électrode de telle sorte que le point P_1 se retrouve en P_2 sur le cercle de centre P et de rayon r situé dans un plan perpendiculaire à l'axe 6. On répète ensuite l'opération n fois de manière à décrire, par arcs de cercle successifs, tout le cercle de centre P et de rayon r . Les arcs $P_1 P_2, P_2 P_3, \dots, P_{n-1} P_n$ peuvent être aussi petits que l'on veut. A titre d'exemple, n peut être de l'ordre de 20 pour la semi-finition. Le temps de remontée de l'électrode en vitesse rapide étant insignifiant devant le temps de travail en descente, on arrive à un rendement de 75 à 95% par rapport à la méthode qui consisterait à enlever la même quantité de matière en une seule et une unique descente (par exemple avec une électrode présentant, par rapport à celle qu'on utilise dans le procédé, une surépaisseur égale à la valeur r sur toutes ses faces latérales).

Pour les passes de finition (fig. 5), on opère de la même manière, mais avec un régime plus faible et avec un rayon r' légèrement plus grand que r , de manière à tenir compte de la différence entre les lignes de passage choisies et entre les régimes utilisés. Il est préférable d'utiliser des translations avec des arcs un peu plus courts, le nombre de passes étant par exemple de l'ordre du double de n . Avec n' de l'ordre de 40, on obtient des portées qui ne présentent aucune marque de discontinuité vu la petitesse des rayons utilisés, et qui ont une précision géométrique de l'ordre du centième de millimètre. Par ailleurs, il est avantageux de choisir n et n' pour avoir des pas suffisamment petits entre chaque passe, de façon à réduire les risques de court-circuits et à régulariser l'enlèvement de matière, la valeur de ces pas étant en relation avec la distance électrode-pièce du régime d'étincelage choisi.

Pour une meilleure compréhension, la description détaillée du procédé a été volontairement faite seulement dans le cas de la tête d'alésage ou de translation circulaire, permettant de communiquer les mouvements de translation circulaire à l'électrode dans un plan perpendiculaire à l'axe 6. Dans le cas du plateau porte-pièce à mouvement orbital, les mouvements de translation circulaire de l'électrode sont remplacés par ceux de la pièce à étinceler, mais le principe du procédé et les résultats obtenus sont exactement les mêmes. Il en est d'ailleurs de même pour tout autre système permettant de communiquer un déplacement latéral contrôlé à l'électrode ou à la pièce à usiner.

La rugosité moyenne obtenue peut être aussi faible que celle dont est capable la machine d'étincelage utilisée, à condition d'avoir une rugosité des faces latérales de l'électrode elle-même suffisamment faible, mais on peut choisir des réglages évitant d'aboutir à des temps d'exécution prohibitifs et permettant, par exemple, d'obtenir une rugosité moyenne de 2μ CLA. Ce grain s'enlève facilement par un polissage classique léger, mais aussi par un polissage de courte durée sur une machine à polir à la pâte abrasive. Ces résultats sont obtenus grâce à une optimisation des régimes et des lignes de passage utilisés pour l'électro-érosion, qui permettent de déterminer le sous-dimensionnement de l'électrode par rapport à l'empreinte à obtenir et les valeurs de r et r' . Dans le choix des régimes rentre aussi la préoccupation de limiter le plus possible l'usure de l'électrode.

On remarque que l'électrode descend, au cours de la finition, encore plus profondément que pour la semi-finition et même jusqu'à sortir complètement sous l'orifice étincelé (cela étant à faire chaque fois que possible), de sorte que le travail de l'électrode ne s'arrête pas au niveau des zones de ses faces latérales usées par les opérations précédentes ou en cours, mais se poursuit et se termine au-delà de ces zones. La zone basse de l'électrode correspond à la partie usée à l'étincelage de l'ébauche, la zone suivante à la partie usée lors de la semi-finition, la zone suivante à la partie usée faiblement lors de la finition, et la zone supérieure à une partie encore intacte de l'électrode. Le fait de prendre les précautions ci-dessus permet de faire toute la finition avec la partie supérieure des faces latérales de l'électrode, partie qui, en fin de finition, peut être restée encore partiellement neuve si l'électrode a été prévue assez haute ou, sinon, qui — tout au moins — reste toujours plus épaisse (moins usée) que les zones plus basses et, en fait, très proche de ses dimensions

d'origine, et donc d'obtenir une excellente perpendicularité et un excellent parallélisme des faces de l'orifice érodé. Cette méthode suppose que l'électrode a été réalisée avec des faces latérales parfaitement parallèles et, bien entendu, perpendiculaires aux plans parallèles comprenant ses faces inférieure et supérieure, qu'elle a été montée sur la broche de la machine dans une position parfaitement perpendiculaire à la table (ou, si l'on préfère, parallèle au déplacement de la broche), et qu'elle est fixée par une suspension dont les épaisseurs en tous points sont plus faibles que celles correspondantes de l'électrode afin de pouvoir pénétrer sans dommage dans l'orifice déjà étincelé, cette fixation étant réalisable dans la plupart des cas. Les caractéristiques géométriques ci-dessus sont, en général, bien conservées sur une électrode ayant déjà servi, car la méthode utilisée (traversée complète de l'électrode dans l'orifice et avance par petits pas) conduit à une usure en finition qui est modérée, régulièrement répartie dans le plan horizontal et d'une façon bien parallèle dans le sens de la hauteur, ce qui permet de réutiliser l'électrode de 2 à 15 fois selon les cas, avec une bonne fidélité quant à la géométrie obtenue et une faible dispersion des diverses dimensions des orifices réalisés. Ce sont, d'ailleurs, ces critères de répartition de l'usure, ou de non-déformation de l'électrode, qui conduisent ou non à prononcer sa réforme.

Le parallélisme et la perpendicularité des portées sont encore améliorés par l'utilisation, au cours de la finition, d'une circulation du liquide diélectrique par aspiration. Cette méthode est délicate d'emploi, car elle produit des gaz qui sont difficiles à évacuer par les moyens classiques. Ceux-ci s'accumulent dans les dégagements ou dépouilles et ont tendance à provoquer de petites explosions suffisantes pour déplacer la pièce ou l'électrode de quelques centièmes de millimètre, ce qui détruit immédiatement la précision du travail en cours. On peut remédier à cet inconvénient en incorporant dans le cycle de travail, avec une période réglable, une phase de dégazage par retrait vers le haut de l'électrode, ce qui suffit à écarter les risques d'explosion.

Dans ces conditions, la perpendicularité des faces de l'orifice par rapport au plan de base de la pièce et, par conséquent, le parallélisme de ces faces entre elles sont obtenus avec une précision comparable à celle du déplacement de la broche de la machine. Pour de nombreuses machines, la perpendicularité de ce déplacement par rapport à la table étant respectée avec un écart inférieur à 0,02 mm/m, on peut obtenir, sur la filière étincelée, une conicité tout à fait négligeable à l'échelle des longueurs maximales de portée habituelles, de l'ordre de 20 à 30 mm.

Ces très bonnes tolérances de perpendicularité permettent de pratiquer l'étincelage d'une empreinte débouchante dans un sens indifférent par rapport aux deux faces sur lesquelles elle s'ouvre. En ce qui concerne plus particulièrement les filières d'extrusion des métaux, on choisit le sens d'étincelage permettant les conditions de travail les plus confortables. Pour les filières pour profilés pleins, ce sens est le plus souvent celui représenté sur les figures annexées, c'est-à-dire, en fait, le sens de passage du métal dans la filière, mais rien n'empêche, en cas de besoin, d'utiliser l'autre sens, c'est-à-dire en faisant entrer l'électrode par le côté dégagement. C'est cette possibilité qui est, en fait, utilisée pour les filières pour profilés tubulaires dites à pont, étincelées alors que l'ensemble est complètement monté puisque, dans ce cas, le seul accès possible pour l'électrode est dans le sens inverse du sens de passage du métal dans l'outillage. L'électrode-érosion en sens inverse du sens de filage permet, en outre, à l'endroit qui convient le mieux de la gamme d'usinage de la filière, d'incorporer l'étincelage de la dépouille avec la même électrode, au lieu de réaliser cette partie préalablement par des moyens d'usinage classiques. Dans ces conditions, l'orifice complet, portées et dépouille, peut être réalisé par étincelage, soit directement dans la masse, soit à partir d'un avant-trou grossier. L'étincelage de la dépouille peut se

faire avec un régime d'ébauche aussi rapide que le permettent la machine ou l'électrode, car cette partie de la filière ne nécessite pas la même précision que les portées, mais on peut, si on le désire, ajouter une étape de semi-finition. La dépouille peut être réalisée avec une génératrice verticale et rectiligne mais, si l'on désire l'ouvrir plus largement sur la sortie de la filière, on peut la réaliser d'une façon étagée. Dans un cas comme dans l'autre, il suffit de choisir des valeurs de r en fonction de l'agrandissement que représente la dépouille à obtenir par rapport à la dimension d'empreinte que peut donner l'électrode.

La précision des dimensions de l'orifice peut être de l'ordre du centième de millimètre, même avec une électrode ayant servi plusieurs fois et présentant une certaine usure répondant aux critères exposés plus haut. En effet, pour corriger l'effet de cette usure, il suffit d'utiliser des rayons r et r' augmentés de la valeur de l'usure latérale, et l'on obtient un orifice dont les dimensions sont pratiquement identiques à celles du premier orifice réalisé par l'électrode. Cette possibilité est très importante pour respecter les tolérances serrées des orifices ou de certaines parties de ceux-ci (recherche d'un bon centrage), et aussi pour les outillages à multiécoulements où les différentes ouvertures peuvent être obtenues avec une très faible dispersion de leurs dimensions, ce qui est prépondérant pour un bon fonctionnement de la filière.

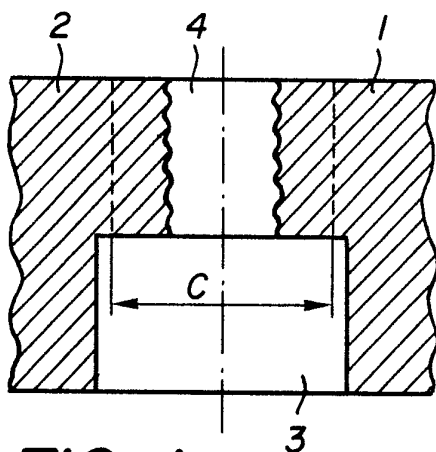
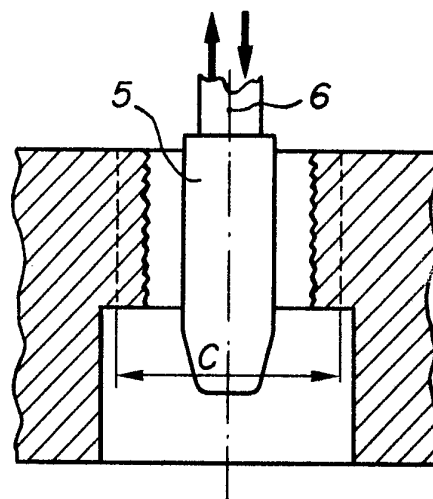
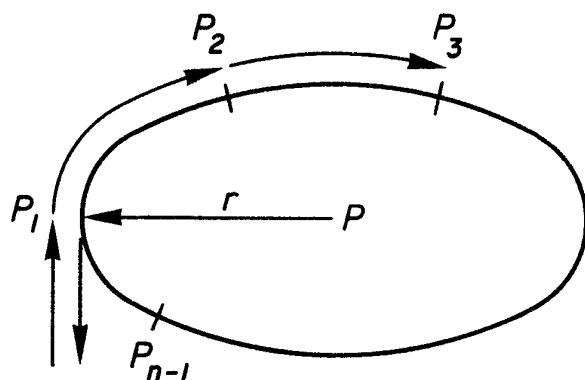
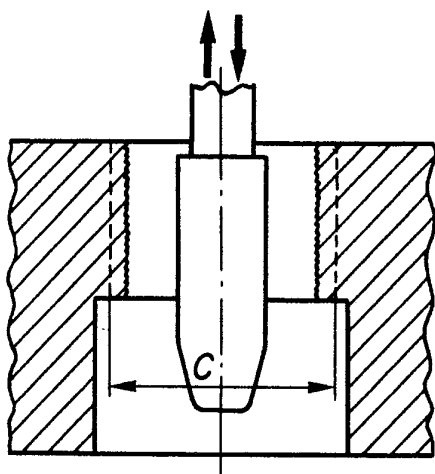
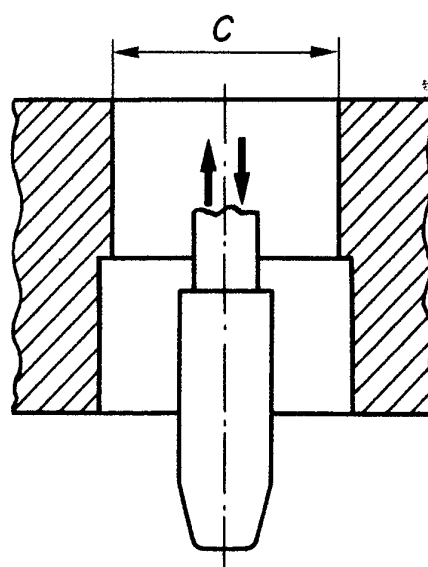
Il est nécessaire de souligner cependant que la précision des dimensions de l'orifice obtenu ne peut être que relative à celle des dimensions de l'électrode et que, au même titre que ce qui a été dit pour le parallélisme de ses faces latérales et pour sa mise en place, il convient d'apporter tout le soin nécessaire à la réalisation des dimensions de cette pièce.

Il est à remarquer que le travail en pas à pas et les retraits éventuels de l'électrode pour dégazage favorisent un bon lavage de l'intervalle électrode-pièce par le diélectrique.

Le procédé décrit, du fait de la qualité de surface et la finesse du grain obtenu, permet de travailler sur des outillages traités thermiquement. Si le traitement thermique a été fait en bain de sels, la présence de résidus de sels sur le trajet de l'électrode a pour résultat de perturber gravement le déroulement de l'étincelage. Celui-ci ne se produit plus là où il y a du sel, mais la machine continue sa descente, si bien que l'électrode vient au contact de ce dernier et se déplace ou se déforme en continuant son travail par ailleurs sur une trajectoire aberrante, de sorte que la pièce devient irrécupérable. Il faut donc procéder à un nettoyage poussé des pièces après traitement thermique ou réaliser celui-ci sous atmosphère neutre ou sous vide.

Le procédé peut être mis en œuvre en utilisant une tête d'alésage ou de translation circulaire connue, ou bien un plateau porte-pièce à mouvement orbital existant sur le marché, ou encore tout autre système, chacun d'eux comportant un ensemble moteur transmettant soit à l'électrode, soit à la pièce à étinceler, un mouvement de translation circulaire, ou tout autre déplacement latéral contrôlé, ces dispositifs étant adaptables sur les machines classiques d'électro-érosion, sous réserve de contraintes dimensionnelles pouvant éventuellement se présenter pour les plus petites.

Le découpage du mouvement du dispositif de translation circulaire en pas élémentaires réglables et leur combinaison avec les mouvements de la broche de la machine, de façon à obtenir un automatisme assurant le cycle de fonctionnement, sa répétition permettant d'effectuer un tour complet de la translation, l'arrêt de la machine à la fin de ce tour, et comportant la possibilité de faire intervenir éventuellement une séquence de dégazage à fréquence réglable, selon les méthodes du procédé ci-dessus, sont très faciles à réaliser par des moyens classiques. L'enchaînement entre les phases ébauche et semi-finition d'une part, puis semi-finition et finition d'autre part, restent bien entendu du domaine de la commande manuelle, de façon à laisser à l'opérateur le choix des réglages nécessaires.

**FIG. 1****FIG. 2****FIG. 3****FIG. 4****FIG. 5**