

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 18241

(54)

Electrode en forme de fil pour le découpage d'une pièce métallique par étincelage érosif.

(51)

Classification internationale (Int. Cl. ³). B 23 P 1/12.

(22)

Date de dépôt..... 20 août 1980.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée : Suisse, 11 octobre 1979, n° 9 170/79-4; 25 mars 1980, n° 2 318/80-2.

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 16 du 17-4-1981.

(71)

Déposant : Société dite : ATELIERS DES CHARMILLES SA, résidant en Suisse.

(72)

Invention de : Jean-Paul Briffod, Roland Martin, Jean Pfau, Bernard Bommeli et Danielle Schnellmann.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Cabinet Plasseraud,
84, rue d'Amsterdam, 75009 Paris.

ELECTRODE EN FORME DE FIL POUR LE DECOUPAGE D'UNE PIECE
METALLIQUE PAR ETINCELAGE EROSIF

L'invention a pour objet une électrode-fil pour le découpage d'une électrode-pièce par décharges électriques érosives intermittentes, constituée par une âme en un premier matériau conducteur de l'électricité et un revêtement en un second matériau dont les températures d'évaporation et de fusion sont inférieures à celles du premier matériau.

Dans les machines pour le découpage par étincelage, l'électrode est généralement constituée par un fil métallique connecté à un générateur d'impulsions électriques pour faire éclater des décharges érosives entre le fil et une pièce. Des organes de guidage et d'entraînement permettent, d'une part, un défilement longitudinal rapide, de sorte que la portion de fil soumise à l'usinage est constamment renouvelée, et provoquent d'autre part, un déplacement lent de manière à découper la pièce selon une forme voulue. Un fil de petit diamètre, quelques dixièmes de millimètres, permet de découper des détails fins, mais en contrepartie limite fortement le courant d'usinage et la tension mécanique admissible sans risque de rupture. L'absence de rigidité nuit à la précision et aussi au rendement d'usinage. En effet, le fil n'est séparé de la pièce que par un intervalle de quelques microns, de sorte que, sous l'effet de diverses forces perturbatrices, il vient fréquemment en contact accidentel avec la pièce, ce qui provoque ordinairement des courts-circuits sans action érosive.

De nombreux travaux ont été entrepris en vue d'obtenir un fil amélioré. Le cuivre utilisé au début a été remplacé par du laiton; puis on a essayé d'autres alliages à plus grande résistance mécanique à la traction. On a aussi cherché à utiliser un fil composé d'un noyau en acier avec un revêtement de métal bon conducteur. Enfin, on a proposé dans la demande de brevet française No. 79-5044, du 27 février 1979, au nom de la demanderesse, un dépôt de métal ou d'alliage à basse température d'ébullition dans le but de

protéger le noyau du fil contre les entrées de chaleur dues aux décharges érosives et permettre d'augmenter ainsi la fréquence des décharges avant que ne se produise une rupture du fil; les meilleurs résultats ont été obtenus avec un dépôt de zinc, qui, dans une liste des éléments classés selon leurs points d'ébullition, est le premier métal exempt de difficultés telles que trop grande réactivité chimique ou toxicité. Le fait que ce métal s'érode facilement n'est pas un inconvénient, car la portion du fil soumise à l'usinage est constamment renouvelée.

L'invention a pour but d'augmenter la vitesse d'usinage en éliminant les courts-circuits avec une efficacité accrue, plus exactement en obtenant une transformation accélérée des courts-circuits en décharges érosives. On entend par transformation rapide le fait que, lors des contacts accidentels entre l'électrode et la pièce, le passage facile du courant ne puisse s'effectuer librement en court-circuit et se transforme en une décharge érosive en un temps très court par rapport à la durée de l'impulsion qui est elle-même de l'ordre de quelques micro-secondes; l'invention a donc pour but d'obtenir ce phénomène avec une efficacité et une rapidité inconnue à ce jour.

L'électrode faisant l'objet de l'invention est caractérisée en ce que le revêtement du fil est constitué par au moins une pellicule dudit second matériau recouverte d'un mince film d'un troisième matériau non métallique, ce film ayant une épaisseur suffisante pour présenter un effet propre aux semi-conducteurs lorsque ce film est en contact avec l'électrode-pièce et lorsqu'on applique entre ces électrodes une différence de potentiel dont la valeur est de quelques volts, et pour devenir conducteur par claquage électrique et/ou thermique lorsque cette différence de potentiel est comprise entre cette valeur et une centaine de volts.

Le dessin annexé représente, schématiquement et à titre d'exemple, deux formes d'exécution de l'électrode objet de l'invention.

La figure 1a montre la coupe d'un fil-électrode selon une première forme d'exécution.

La figure 1b est une coupe à plus grande échelle de la portion A de la figure 1a.

5 La figure 2 montre deux caractéristiques tension-courant observées lors d'un contact avec la surface d'un fil réalisé selon l'invention.

Les figures 3a et 3b montrent, en coupe, un fil-électrode selon une deuxième forme d'exécution.

10 La figure 1 montre la coupe d'un fil-électrode avec une âme 1 de cuivre et un revêtement composé d'une pellicule 2 d'alliage cuivre-zinc recouvert d'un film 3 d'oxyde de zinc (ZnO). A titre d'exemple, le diamètre de l'âme peut être de 220 μm de diamètre, la couche de Cu-Zn de 8 μm d'é-
15 paisseur et la pellicule de ZnO de moins de 1 μm d'épaisseur.

En ce qui concerne l'âme de cuivre, d'autres variantes d'exécution sont possibles. pour satisfaire aux exigences de bonne conductivité électrique et bonne résistance à la rupture, par exemple on peut utiliser du laiton ou de l'acier
20 avec un manteau de métal bon conducteur. Pour obtenir le fil, on doit effectuer un premier dépôt de quelques μm ; en principe, n'importe quel métal ou alliage à température d'ébullition inférieure à 1100°C peut être utilisé pour autant qu'il adhère bien à l'âme métallique, qu'il ait des quali-
25 tés mécaniques suffisantes, qu'il soit stable chimiquement et peu toxique, et qu'un film d'oxyde puisse être formé ou déposé sur sa surface. A noter que compte tenu de la faible épaisseur du dépôt, la résistivité électrique peut très bien être élevée; de bons résultats ont été obtenus avec une pel-
30 licule unique de Zn de 5 à 15 μm déposée par voie électrolytique. Cette épaisseur de 5 μm est du même ordre de grandeur que la profondeur d'un cratère d'érosion. Le dépôt est suivi d'un recuit en atmosphère oxydante, par exemple à l'-
35 air libre, de manière à provoquer à la surface la formation d'un film d'oxyde de zinc (ZnO).

Il est avantageux que l'oxydation du film de zinc soit

interrompue avant que tout le zinc soit transformé en oxyde, car le zinc métallique présente une basse température d'évaporation, ce qui joue un rôle favorable pour l'obtention de bonnes conditions d'usinage. Lors du traitement thermique, 5 il se produit un mélange entre le zinc et son oxyde, mélange qui semble contribuer aux bons résultats obtenus avec cette structure de fil.

On obtient de bons résultats en chauffant le fil pendant au moins deux secondes à une température d'au moins 10 600°C; il semble que la formation de ce film soit rapide au début du chauffage, puis de plus en plus lente, vraisemblablement à cause du rôle auto-protecteur de l'oxyde, de sorte que l'on obtient un film d'épaisseur inférieure à 1 μm , par exemple compris entre 200 et 2000 Å. Il a encore été observé 15 que ce film épouse les rugosités de la surface et pénètre parfois sous forme de filaments de plusieurs μm à l'intérieur du substrat. En ce qui concerne le métal composant de l'oxyde, les essais ont montré que les effets favorables pour l'usinage n'étaient nullement limités au seul oxyde de 20 zinc. Il est tout à fait possible de déposer par dessus le zinc une pellicule de quelques microns d'un autre métal facilement oxydable et de procéder à un recuit en présence d'oxygène. On peut utiliser d'autres oxydes, également connus comme semi-conducteurs, par exemple du CuO , Cu_2O , CdO , 25 In_2O_3 , PbO , TiO_2 , MnO_2 , MgO et NiO . Des oxydes isolants comme Al_2O_3 peuvent également être envisagés. Lorsqu'on applique à travers l'épaisseur d'un film d'un de ces oxydes semi-conducteurs une différence de potentiel comprise entre quelques volts et une centaine de volts selon leur épaisseur, le 30 film devient brusquement conducteur par claquage thermique et/ou électrique. Lorsque la différence de potentiel est inférieure à ces quelques volts, le film ne laisse passer localement qu'un courant très faible empêchant ainsi la formation de courts-circuits. En conséquence, il faut pouvoir 35 parfaitement contrôler l'épaisseur du dépôt pour que le claquage puisse encore avoir lieu avec la tension du générateur

disponible. Le comportement électrique de tous ces oxydes dépend non seulement de leur constitution chimique, mais aussi de leur mode de préparation qui en détermine la pureté et la structure physique. Ces films adhérent sur la surface
5 des pellicules métalliques pourraient également être constituées par d'autres matériaux non métalliques tels que des carbures, borures, siliciures, sulfures et nitrures de différents métaux. En plus de l'oxydation, il a été trouvé que ce traitement thermique précité a au moins deux autres ef-
10 fets dignes d'être mentionnés.

Tout d'abord, la surface apparaît comme très rugueuse, comme si elle était formée par l'agglomération de grains de dimensions variables s'étendant de 0,1 μm à quelques μm , avec de nombreux interstices; le tout rappelle la structure
15 d'une éponge. Ensuite, l'analyse à la microsonde d'une coupe transversale a révélé la présence de trous de 1 à 2 μm , ce qui confirme la structure spongieuse suggérée par l'aspect de la surface. La même analyse a révélé encore que le traitement thermique provoquait une diffusion des atomes de Cu
20 de l'âme métallique dans la couche de Zn et vice versa, de sorte que le Zn pur disparaît au profit d'un alliage Cu-Zn comportant environ 10 à 20 % de cuivre.

Lorsque les vitesses de diffusion sont très différentes, il apparaît un effet connu en métallurgie physique sous
25 le nom d'effet Kirkendall. Or, précisément dans notre cas, il est connu que les atomes de Zn diffusent plus rapidement que ceux du Cu; en conséquence, les lacunes créées par les atomes de Zn qui diffusent vers l'intérieur, ne sont pas immédiatement compensées par l'arrivée d'atomes de Cu et ceci
30 pourrait être la cause de la porosité observée.

Enfin, on a constaté que le fil traité se laisse mouiller beaucoup plus facilement par l'eau qui sert de liquide d'usinage. Ainsi, la fonction de refroidissement serait augmentée, ce qui permettrait de faire passer un courant plus
35 élevé.

La suppression quasi totale des courts-circuits pendant

l'usinage provient vraisemblablement de ce que l'oxyde de zinc, qui est semi-conducteur, s'oppose au passage facile du courant lors des contacts accidentels entre le fil et la pièce. Dans un contact qui évolue vers un court-circuit à très faible résistance, il est connu qu'aux fortes intensités les métaux en présence fondent et se soudent localement; c'est ce qui se passe entre l'acier et le cuivre. Au contraire, avec le fil décrit qui s'est révélé impossible à souder, il y a vraisemblablement échauffement local rapide favorisé par la grande résistance au point de contact résultant du film d'oxyde et évolution vers une décharge.

La figure 2 montre deux caractéristiques tension-courant typiques observées lors d'un contact avec la surface du fil. Suivant le point de contact choisi et la pression exercée, on observe tout un jeu de caractéristiques dont seules deux ont été représentées (a) et (b). La forme (a) est celle qui apparaît le plus souvent avec un coude pour les valeurs $U_c = 1$ à 5 V et $i_c = 0,1$ à 1 mA; la dissymétrie révèle la présence d'une jonction avec effet redresseur, ce qui n'a rien d'étonnant puisqu'on a mis en présence deux matériaux avec des types de conduction différents, à savoir un métal et un oxyde semi-conducteur. A noter que le sens de passage "facile" du courant correspond au fil négatif par rapport à la pièce à usiner. Etant donné la puissance du générateur, au moins 150 V de tension à vide et plus de 150 A de courant de court-circuit, il est évident que même dans le sens "facile" le courant rencontre une résistance d'au moins 1 k Ω au début de l'impulsion, d'où un échauffement local extrêmement rapide au point de contact.

La figure 3 montre la coupe d'un fil avec une âme 1 de cuivre et deux revêtements 2 et 4 superposés d'alliage cuivre-zinc recouverts respectivement des films d'oxyde de zinc (ZnO) 3 et 5. A la place d'un dépôt unique de $8 \mu\text{m}$ de zinc, on a effectué un premier dépôt 2 de $4 \mu\text{m}$ et un premier recuit dans les conditions déjà indiquées, ce qui a formé un film 3 de ZnO. Cette opération a été suivie d'un deuxième dé-

pôt 4 de 4 μ m de zinc et d'un deuxième recuit similaire au premier, donnant en surface un film 5 de ZnO. Les mêmes phénomènes de diffusion de Cu dans le Zn et vice versa ont été observés, ainsi que la porosité accompagnée de la rugosité en surface.

Cette structure à deux films d'oxyde permet de remédier à la fragilité d'un film unique, dont l'épaisseur est limitée à 1 μ m et subit inévitablement des destructions locales à cause des décharges. Ainsi, grâce à la superposition des films d'oxyde, on obtient un fil dont la durée de vie de la surface active est prolongée.

On obtient les meilleurs résultats à l'aide d'une structure stratifiée comprenant 3 ou 4 dépôts et recuits pour l'usinage d'une pièce de 40 mm d'épaisseur; il est même possible d'envisager un plus grand nombre de dépôts pour l'usinage de pièces de 100 mm et plus.

A titre d'exemple, la présence de ZnO en surface sur une pellicule de zinc unique a permis d'augmenter la vitesse de coupe de 30 % par rapport à un fil semblable sans film d'oxyde sur une pièce de 40 mm d'épaisseur. Si l'on procède sur le même fil de cuivre à un premier dépôt de 4 μ m de zinc suivi d'un recuit, puis à un deuxième dépôt de 4 μ m également suivi d'un recuit, on observe un gain de vitesse de 55 % par rapport à la première valeur. Toujours en gardant le même diamètre de l'âme de cuivre et le même diamètre final du fil avec son revêtement de 8 μ m, on obtient les meilleurs résultats en procédant à 3 ou 4 dépôts et recuits; le gain de vitesse dans ces conditions dépasse alors 60 %.

On obtient des résultats sensiblement moins bons, mais encore remarquables lorsque le dernier dépôt de zinc n'est pas suivi du traitement thermique mentionné ci-dessus. Dans ce cas, l'absence d'un oxyde sur la surface du fil améliore la qualité du contact d'amenée du courant sur ce fil, et du fait que la pellicule superficielle de zinc recouvrant l'électrode est rapidement endommagée au cours de l'usinage,

le film d'oxyde recouvrant le dépôt précédant de zinc apparaîtrait au moins partiellement en surface avant que le fil sorte de la zone d'usinage en provoquant des effets favorables décrits précédemment.

- 5 Un autre procédé de fabrication de l'électrode-fil consiste, après avoir déposé cathodiquement une pellicule du deuxième matériau, par exemple du zinc, au moyen d'un premier bain électrolytique contenant par exemple un sel de zinc soluble dans l'eau, à procéder dans un deuxième bain à
- 10 l'oxydation anodique de la surface de cette pellicule. Ces deux opérations pourraient aussi être répétées plusieurs fois de manière à obtenir une superposition de films métalliques recouverts chacun d'une couche d'oxyde.

- Dans les exemples, l'âme 1 du fil était en cuivre, mais
- 15 il est clair que l'on peut envisager l'emploi d'autres métaux, notamment de l'acier ou du molybdène. Cette âme pourrait d'ailleurs être composée de plusieurs métaux superposés.

R E V E N D I C A T I O N S

1. Electrode-fil pour le découpage d'une électrode-pièce par décharges électriques érosives intermittentes, constituée par une âme (1) en un premier matériau conducteur de l'électricité et un revêtement en un second matériau dont les températures d'évaporation et de fusion sont inférieures à celles du premier matériau, caractérisée en ce que le revêtement du fil est constitué par au moins une pellicule (2) dudit second matériau recouverte d'un mince film (3) d'un troisième matériau non métallique, ce film (3) ayant une épaisseur suffisante pour présenter un effet propre aux semi-conducteurs lorsque ce film (3) est en contact avec l'électrode-pièce et lorsqu'on applique entre ces électrodes une différence de potentiel dont la valeur est de quelques volts, et pour devenir conducteur par claquage électrique et/ou thermique lorsque cette différence de potentiel est comprise entre cette valeur et une centaine de volts.
2. Electrode - fil selon la revendication 1, caractérisée en ce que le troisième matériau est composé d'au moins un oxyde métallique.
3. Electrode-fil selon la revendication 2, caractérisée en ce que le métal entrant dans la composition de l'oxyde métallique entre aussi dans celle du deuxième matériau.
4. Electrode-fil selon la revendication 3, caractérisée en ce que le deuxième matériau contient au moins 50 % de l'un ou d'un alliage des métaux suivants : zinc, cadmium, magnésium, et en ce que le troisième matériau contient au moins un oxyde de ces métaux.
5. Electrode-fil selon la revendication 2, caractérisée en ce que l'épaisseur du film d'oxyde métallique est comprise entre 200 et 2000 Å.
6. Electrode-fil selon la revendication 1, caractérisée en ce que son revêtement a une structure poreuse.
7. Electrode-fil selon la revendication 2, caractérisée en ce que le film (3) d'oxyde métallique est d'un type

se laissant mouiller par l'eau.

8. Electrode-fil selon la revendication 1, caractérisée en ce que son revêtement est constitué par au moins deux pellicules (2, 4) superposées formées par le deuxième matériau et recouvertes chacune d'un film (3, 5) comportant le troisième matériau non métallique.

9. Electrode-fil selon la revendication 8, caractérisée en ce que lesdites pellicules (3, 5) contiennent chacune au moins 80 % de zinc, et en ce que lesdits films sont constitués par de l'oxyde de zinc.

10. Utilisation de l'électrode-fil selon l'une quelconque des revendications précédentes dans un procédé d'usinage par décharges électriques érosives d'une électrode-pièce selon lequel l'électrode-fil est déplacée longitudinalement à travers la zone d'usinage de manière à assurer son renouvellement, et les décharges sont produites par un générateur d'impulsions connecté entre ces électrodes.

11. Utilisation de l'électrode-fil selon la revendication 10, caractérisée en ce que la tension du générateur d'impulsions est supérieure à la tension de claquage du film non métallique recouvrant la surface du fil.

12. Procédé de fabrication de l'électrode-fil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste à déposer sur la surface de l'âme (1) du fil une pellicule (2) composée par le deuxième matériau, puis à provoquer l'oxydation du métal constituant cette pellicule par un traitement thermique dans un gaz contenant de l'oxygène pour former le film (3) constitué par le troisième matériau,

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il consiste à répéter séquentiellement au moins deux fois ledit dépôt du deuxième matériau et l'oxydation partielle de ce dépôt au moyen dudit traitement thermique.

14. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il consiste à déposer sur la surface du fil une pellicule (2) constituée par ledit deuxième matériau, puis à réaliser une oxydation anodique de la surface de cette pellicule dans

un bain contenant un électrolyte choisi en fonction de la composition dudit deuxième matériau.

15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il consiste à répéter séquentiellement au moins deux 5 fois ledit dépôt du deuxième matériau suivi de l'oxydation anodique de la surface de ce dépôt.

FIG. 1a

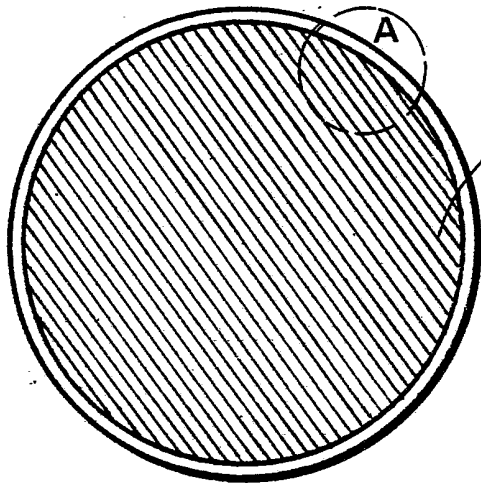


FIG. 1b

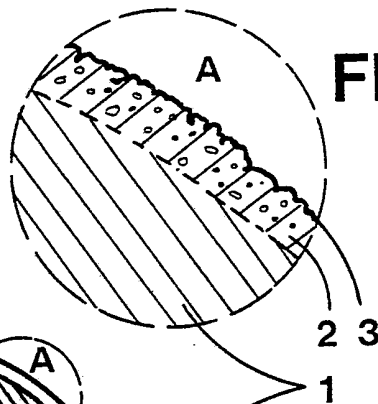


FIG. 3b

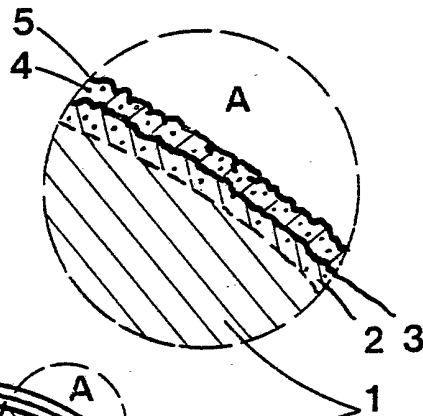


FIG. 3a

