



CH 689 824 A5



CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

11 CH 689 824 A5

51 Int. Cl.<sup>6</sup>: B 23 H 001/02  
B 23 H 007/04  
B 23 H 007/20

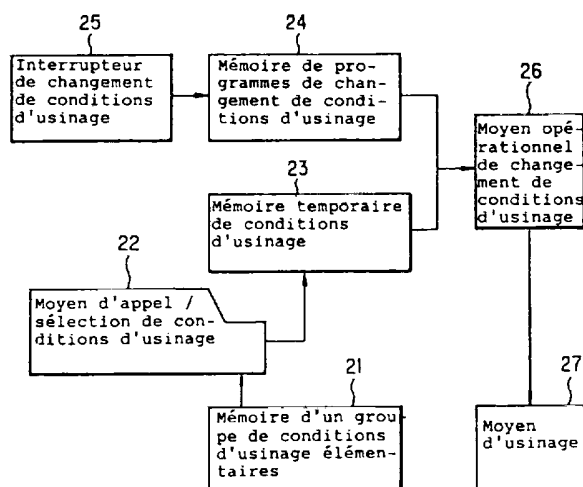
Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein  
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

12 FASCICULE DU BREVET A5

21 Numéro de la demande: 02200/92	73 Titulaire(s): Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha, 2-3, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku/Tokyo (JP)
22 Date de dépôt: 13.07.1992	
30 Priorité: 12.07.1991 JP A3-172449 15.07.1991 JP A3-173840	72 Inventeur(s): Takeuchi, Hiroshi, Higashi-ku/Nagoya (JP) Nakayama, Yoshiro, Higashi-ku/Nagoya (JP)
24 Brevet délivré le: 15.12.1999	
45 Fascicule du brevet publiée le: 15.12.1999	74 Mandataire: Bovard AG, Optingenstrasse 16, 3000 Bern 25 (CH)

54 Procédé et dispositif d'usinage par électro-érosion.

57 En ajustant un interrupteur (25) de changement de conditions d'usinage dans un dispositif d'usinage par électro-érosion, des programmes de changement de conditions d'usinage sont appelés à partir d'une mémoire (24); les conditions d'usinage ainsi appelées, parmi un groupe de conditions d'usinage, et temporairement mémorisées dans la mémoire (24), sont modifiées en fonction des programmes et l'usinage est réalisé par des moyens d'usinage (27) en fonction des conditions modifiées d'usinage.



CH 689 824 A5

## Description

Cette invention concerne un dispositif d'usinage par électro-érosion dans lequel l'usinage est réalisé à l'aide de décharges électriques entre une électrode et une pièce, et plus particulièrement un dispositif d'usinage par électro-érosion dans lequel les conditions d'usinage peuvent être facilement changées. Elle concerne également un procédé d'usinage par électro-érosion et la machine associée dans laquelle les données d'usinage peuvent être automatiquement récupérées et des colonnes de conditions d'usinage peuvent être automatiquement générées.

Dans un dispositif d'usinage par électro-érosion conventionnel, les conditions d'usinage peuvent être établies préalablement. Normalement, les conditions d'usinage sont fournies à partir d'une table de conditions d'usinage. La table de conditions d'usinage est ordinairement chargée manuellement par un opérateur qui introduit les données à l'aide d'un clavier; les modifications sont effectuées de la même façon. Normalement la table de conditions d'usinage est organisée en fonction des paramètres applicables tels que le matériau de la pièce, le diamètre du fil-électrode, l'épaisseur de la pièce, etc. Il y a ensuite des sélections multiples pour chacun des paramètres et un paramètre approprié peut être sélectionné afin d'éviter que le fil-électrode soit endommagé. Des conditions telles que l'usinage conique et l'usinage d'une pièce étagée peuvent aussi être décrits dans les tables de conditions d'usinage. SKD-11, WC-Co, le cuivre, le graphite, etc. sont des exemples de matériaux usinés.  $\varnothing 0.1$ ,  $\varnothing 0.15$ ,  $\varnothing 0.2$ ,  $\varnothing 0.25$ ,  $\varnothing 0.3$ , etc., sont des exemples de diamètres du fil-électrode. 5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, etc. sont des exemples de l'épaisseur de la pièce.

Selon la rugosité de surface d'usinage désirée, il existe plusieurs arrangements de conditions d'usinage tels que l'usinage en une opération, deux opérations, ou trois opérations, etc. La fig. 15 montre un exemple d'une table de conditions d'usinage pour un usinage en une seule opération. La fig. 16 montre un exemple de table de conditions d'usinage pour un usinage en plusieurs opérations. Une valeur numérique basée sur les unités applicables est appliquée pour chaque condition d'usinage. Les valeurs numériques pour un groupe de conditions d'usinage applicables à une rugosité donnée peuvent être mémorisées dans une unité de contrôle numérique.

Les conditions d'usinage (et un exemple d'unité applicable) peuvent comprendre les huit facteurs suivants donnés en exemple:

Vo (sélection de tension): sélectionné pour adapter la tension dans l'espace lorsque aucune charge n'est appliquée (V);  
 Ip (ajustage de la puissance): sélectionné pour adapter le courant de pointe entre les espaces (A);  
 ARRET (temps d'arrêt) sélectionné pour modifier le temps d'arrêt ( $\mu$  sec);  
 WS (vitesse d'alimentation du fil-électrode): sélectionné pour ajuster la vitesse d'alimentation du fil-électrode (m/min);  
 WT (tension du fil-électrode): sélectionné pour ajuster la tension du fil-électrode (g);  
 LQ (débit de liquide diélectrique): sélectionné pour ajuster le débit de liquide diélectrique (l/min);  
 LR (résistivité du liquide diélectrique): sélectionné pour ajuster la résistivité du liquide diélectrique ( $\Omega$  cm);  
 VC (tension moyenne d'usinage): sélectionné pour ajuster la tension d'usinage moyenne à une valeur cible lors d'un usinage avec alimentation optimale (V).

La fig. 17 est une vue schématique montrant la structure d'un dispositif d'usinage par électro-érosion à fil-électrode dans lequel la référence numérique 1 indique un fil-électrode, 2 indique une pièce à usiner, 3 indique un circuit de sélection, 4 indique un circuit d'interruption (circuit d'usinage de finition), 5 indique une résistance, 6 indique un régulateur de tension automatique, 7 indique un circuit de contrôle, un circuit d'oscillation, un circuit logique, et la référence numérique 8 indique un circuit d'ajustement des conditions d'usinage.

Dans une machine d'usinage par électro-érosion, la tension est appliquée entre l'électrode 1 et la pièce 2, et une décharge électrique se produit en sélectionnant rapidement un transistor de puissance dans le circuit de sélection 3.

La fig. 18 est une vue schématique de la structure du circuit d'ajustement des conditions d'usinage 8 montrée à la fig. 17, où la référence numérique 11 indique une mémoire servant à mémoriser un groupe de conditions d'usinage élémentaires, 12 indique un moyen d'appel/sélection des conditions d'usinage pour appeler et sélectionner les conditions d'usinage adéquates à partir de la mémoire 11, 13 indique une mémoire pour mémoriser temporairement les conditions d'usinage appelées et sélectionnées par le moyen d'appel/sélection des conditions d'usinage 12, et 17 indique un moyen d'usinage pour une machine selon les conditions d'usinage mémorisées temporairement dans la mémoire 13.

Les données de conditions d'usinage, telles que le diamètre et le matériau de l'électrode, l'épaisseur et le matériel de la pièce, la rugosité de surface de l'usinage, sont mémorisées dans la mémoire 11. Des conditions d'usinage adéquates sont appelées et sélectionnées de la mémoire 11, par le moyen d'appel/sélection des conditions d'usinages 12, comme expliqué ci-après. Selon une première méthode, un numéro de groupe de conditions d'usinage est donné manuellement par un opérateur à l'aide de l'affichage d'une unité de contrôle, et les conditions d'usinage mémorisées correspondantes sont appelées

de la mémoire 11. Cependant plusieurs groupes de conditions d'usinage ne peuvent pas être appelés en même temps par cette méthode. Lorsqu'il est nécessaire que les conditions d'usinage actuelles soient automatiquement changées pour de nouvelles conditions, les deux méthodes suivantes sont utilisées. Selon une des ces méthodes, un numéro de groupe de conditions d'usinage est donné dans un programme de contrôle numérique. Lorsque le programme indentifie un nouveau groupe, les conditions d'usinage correspondantes préalablement mémorisées sont appelées. Avec l'autre méthode, une fonction de coupe automatique est utilisée, une telle fonction servant à l'usinage en plusieurs étapes d'une seule pièce, chaque étape étant soumise à des conditions différentes, prédéterminées manuellement. Plus spécifiquement, pour chaque coupe, les paramètres d'usinage sont donnés préalablement à l'aide d'un affichage et un numéro de groupe est assigné pour chaque coupe automatique. Ainsi, les conditions de coupe (décalage, numéro de groupe des conditions d'usinage et vitesse d'usinage) peuvent être sélectionnées et appelées automatiquement et l'usinage peut être réalisé. Cependant, même avec l'aide d'une sélection automatique, les conditions dans chaque groupe sont fixées en fonction de valeurs préalablement données par l'opérateur et il n'y a aucune possibilité de changer chaque condition séparément.

La fig. 19 représente un diagramme opérationnel montrant l'opération consistant à ajuster les conditions d'usinage dans un dispositif d'usinage par électro-érosion conventionnel à fil-électrode. Une pièce et une forme d'usinage sont déterminées (étape S-1.) La rugosité de surface d'usinage est déterminée (étape S-2). Une électrode est sélectionnée en fonction de l'épaisseur de la pièce et du rayon minimum des coins (étape S-3). Un gabarit est sélectionné en fonction de la pièce et de son diamètre etc. (étape S-4). On détermine si un deuxième usinage est nécessaire en fonction de la rugosité de surface d'usinage, etc. (étape S-5). Si nécessaire, d'autres conditions d'usinage sont sélectionnées (étape S-6). Si nécessaire, une condition de vitesse maximum est sélectionnée (étape S-7). Les conditions d'usinages sélectionnées aux étapes S-6 ou S-7 sont établies (S-8). On détermine s'il est nécessaire que les conditions d'usinage soient changées en fonction de facteurs instables (usinage de pièce en étape, usinage conique etc.) (Étape S-9). Si nécessaire, les conditions d'usinage en fonction des facteurs instables sont mises en référence (étape S-10). Les conditions d'usinage sont changées par les données d'usinage mises en référence (étape S-11). Les données nécessaires sont prises parmi quinze sortes de données de conditions d'usinage en utilisant un groupe de conditions d'usinage affiché sur l'unité de contrôle numérique et les conditions d'usinage sont changées. Par la suite, ou après l'étape S-9, s'il n'est pas nécessaire de changer les conditions d'usinage, l'usinage commence (étape S-12). On détermine si l'usinage est stable (étape S-13). Si celui-ci est instable, ou s'il y a un risque que le fil-électrode soit coupé, les conditions d'usinage sont changées à l'étape S-11 qui est répétée jusqu'à ce que l'usinage devienne stable.

Dans une machine d'usinage par électro-érosion conventionnelle à fil-électrode construite tel que montré ci-dessus, les conditions d'usinage doivent être changées manuellement par un opérateur pour un usinage économique ou un usinage stable sans que fil-électrode se rompe. Ceci suppose un usinage rapide. De plus, il est préférable d'avoir une bonne connaissance de la machine.

La fig. 20 est une vue schématique, montrant le dispositif d'usinage par électro-érosion conventionnel à fil-électrode, où la référence numérique 51 désigne un fil-électrode, 52 désigne une pièce à usiner, 53 désigne une table, 54 désigne un moteur avec un axe selon X, 55 désigne un moteur avec un axe selon Y, 56 désigne l'alimentation pour l'usinage, 57 désigne l'unité de contrôle principale.

Entre le fil-électrode 51 et la pièce à usiner 52, l'alimentation 56 applique une tension de pulsation provoquant une décharge électrique. Le moteur 54 avec axe selon X et le moteur 55 avec axe selon Y, sont déplacés afin de pouvoir usiner les profils désirés et sont contrôlés par l'unité de contrôle principale 57. Cette unité 57 contrôle aussi l'alimentation d'usinage 56. Les paramètres nécessaires pour l'usinage sont les conditions électriques de l'alimentation d'usinage, la vitesse de déplacement de la table et le taux de décalage servant à augmenter ou à réduire les formes programmées, etc.

La fig. 21 montre un exemple d'une pièce à usiner. Il existe plusieurs combinaisons de rugosité de surface d'usinage, d'épaisseur de pièce, etc., telles que montrées sur les figures. Ainsi, plusieurs paramètres d'usinage doivent être établis pour une seule pièce. Ces paramètres d'usinage sont établis par l'unité de contrôle principale 57. Les paramètres d'usinage sont établis en fonction de chaque combinaison de rugosité de surface d'usinage de l'épaisseur de la pièce, etc, dans un affichage de l'unité de contrôle principale 57. 3S, 6S et 12 S dans la figure, se réfèrent à une rugosité de surface d'usinage. 6S exprime une rugosité plus importante que 3S et 12 S exprime une rugosité encore plus importante que 6S.

Dans une machine d'usinage par électro-érosion conventionnelle à fil-électrode, les conditions d'usinage sont ajustées comme montré ci-dessus et plusieurs paramètres d'usinage doivent être ajustés manuellement à l'aide de l'affichage de l'unité de contrôle principale 57. Ainsi, il est nécessaire de prendre plus de temps pour préparer l'usinage et des erreurs peuvent survenir. De plus, il est très compliqué d'ajuster plusieurs paramètres d'usinage et ceux-ci doivent être ajustés pour plusieurs opérations pour une seule pièce. De même, seulement un nombre limité de combinaisons de paramètres d'usinage peut être mémorisé pour sélection et usage. Ainsi, l'opération d'usinage cause quelques problèmes.

Un des buts de la présente invention consiste à fournir une machine d'usinage par électro-érosion,

dans laquelle les conditions d'usinage peuvent être facilement changées pour obtenir un usinage stable, économique et rapide sans que le fil-électrode soit endommagé.

Pour réaliser cet objectif, un dispositif d'usinage par électro-érosion selon l'invention est prévu, dans lequel l'usinage est réalisé à l'aide d'une décharge électrique se produisant entre une électrode et une

5 pièce comprenant:

une mémoire servant à mémoriser un groupe de conditions d'usinage élémentaires, un moyen d'appel/sélection de conditions d'usinage servant à appeler et sélectionner des conditions d'usinage de ladite mémoire, un interrupteur servant à contrôler une fonction de changement des conditions d'usinage, et

10 un moyen opérationnel permettant de changer les conditions d'usinage en fonction des programmes de changement de conditions d'usinage, opérationnel en réponse à un signal provenant dudit interrupteur, afin que

l'usinage soit réalisé en fonction des conditions d'usinage modifiées par ledit moyen opérationnel.

15 L'interrupteur sert à maximiser les vitesses d'usinage dans le but d'éviter tout dommage au fil-électrode et/ou pour obtenir un usinage économique.

Dans le dispositif d'usinage par électro-érosion selon la présente invention, en ajustant un interrupteur de changement de conditions d'usinage, les programmes de changement de conditions d'usinage sont appelés, les conditions d'usinages appelées à partir d'un groupe de conditions d'usinage et temporairement mémorisées, sont changées en fonction des programmes et l'usinage est réalisé en fonction

20 des conditions d'usinage modifiées.

Dans un mode préféré de réalisation le dispositif d'usinage par électro-érosion, dans lequel l'usinage est réalisé au moyen d'une décharge électrique entre une électrode et une pièce, comprend:

des moyens de mémorisation de données d'usinage (58) permettant de mémoriser les données d'usi-

25 nage, des moyens de récupération des données d'usinage (59) permettant de récupérer automatiquement certaines données d'usinage en fonction de paramètres provenant desdits moyens de mémorisation de données d'usinage (58),

des moyens de mémorisation de règles d'usinage (61) permettant de mémoriser les règles d'usinage, et des moyens de création de colonnes de conditions d'usinage (60) permettant de disposer en ordre

30 logique d'usinage les données d'usinage récupérées par ledit moyen de récupération des données d'usinage (59) selon les règles d'usinage sélectionnées en fonction de certains paramètres à partir desdits moyens de mémorisation de règles d'usinage (61) pour contrôler automatiquement les paramètres et générer les colonnes de conditions d'usinage.

Les moyens de récupération des données d'usinage permettent de récupérer automatiquement les

35 données d'usinage à partir des moyens de mémorisation des données d'usinage, grâce à une commande de récupération comprenant des facteurs de récupération (électrode, matériel et épaisseur de la pièce, rugosité de surface d'usinage) ainsi que les numéros de colonnes des conditions d'usage.

Un autre but de la présente invention consiste à fournir un procédé d'usinage par électro-érosion, dans lequel en retrouvant automatiquement les données d'usinage et en créant automatiquement les

40 colonnes de conditions d'usinage en fonction des règles d'usinage, les paramètres d'usinage ne doivent pas être réglés dans l'unité de contrôle principale; la préparation de l'usinage peut être réalisée dans un temps très court et avec une bonne précision et plusieurs conditions, de même que plusieurs colonnes de conditions d'usinages, sont facilement générées, de sorte qu'un usinage continu peut être réalisé, même lorsqu'il y a plusieurs combinaisons de rugosité de surface d'usinage et d'épaisseur de pièce, etc.

45 pour une seule pièce. Pour réaliser cet objectif, un procédé de commande d'une machine d'usinage par électro-érosion est prévu, ce procédé comprenant les étapes suivantes:

spécification de certains paramètres d'usinage, récupération automatique des données d'usinage à partir d'un moyen de mémorisation de données d'usinage en fonction desdits paramètres;

50 sélection des règles d'usinage en fonction desdits paramètres à partir de moyens de mémorisation de règles d'usinage;

disposition desdites données d'usinage récupérées dans un ordre logique d'usinage en fonction desdites règles d'usinage;

55 utilisation automatique desdites données disposées et création d'au moins une condition d'usinage et usinage sur la base de ladite au moins une colonne de conditions d'usinage créée.

Dans le procédé d'usinage par électro-érosion et la machine associée selon l'invention, certaines conditions d'usinage correspondant à l'électrode, au matériau et à l'épaisseur de la pièce etc., sont automatiquement retrouvées parmi les moyens de mémorisation des données d'usinage par le moyen de récupération des données d'usinage. Les règles d'usinage sont sélectionnées en fonction de la rugosité de surface d'usinage, etc., à partir des moyens de mémorisation de règles d'usinage. Les données

60 d'usinage retrouvées par les moyens de récupération des données d'usinage, sont disposées en ordre logique d'usinage en fonction des règles d'usinage sélectionnées et de paramètres tels que le décalage, etc., tout ceci se faisant automatiquement. Il résulte de ceci, que les paramètres d'usinage ne doivent pas être ajustés à l'aide de l'affichage de l'unité de contrôle principale; même lorsqu'il y a plusieurs

65 combinaisons de rugosité de surface, d'épaisseur de pièce, etc., pour une seule pièce, les paramètres

d'usinage peuvent être facilement déterminés grâce au numéro de colonne des conditions d'usinage. Les données d'usinage peuvent être automatiquement récupérées par la commande de récupération comprenant les facteurs de récupération ainsi que les numéros de colonnes des conditions d'usinage, il résulte de ceci, que les paramètres d'usinage peuvent être déterminés par des données de contrôle numérique générées à l'extérieur de la machine.

D'autres buts et caractéristiques de cette invention seront mis en évidence à partir de la description qui suit en se référant aux dessins d'accompagnement.

L'invention sera décrite en plus de détails en se référant aux dessins suivants dans lesquels

La fig. 1 est un schéma-bloc, montrant la structure d'un circuit d'établissement de conditions d'usinage selon une forme d'exécution préférentielle de l'invention.

La fig. 2 est un diagramme opérationnel montrant le fonctionnement du circuit d'établissement des conditions d'usinage montré à la fig. 1.

La fig. 3 montre un exemple de conditions d'usinage soumises à des conditions optimales selon la présente invention.

La fig. 4 montre un exemple de conditions d'usinage qui sont changées pour un usinage de départ selon l'invention.

La fig. 5 montre un exemple de conditions d'usinage qui sont changées pour l'usinage par étape d'une pièce selon l'invention.

La fig. 6 montre un exemple de conditions d'usinage modifiées pour l'usinage d'une pièce par étape à l'aide d'un gabarit selon l'invention.

La fig. 7 montre un exemple de conditions d'usinage modifiées pour un usinage conique selon l'invention.

La fig. 8 montre un exemple de programme de changement de condition d'usinage selon l'invention afin d'éviter que le fil-électrode soit endommagé.

La fig. 9 est une vue schématique montrant la structure du dispositif d'usinage par électro-érosion à fil-électrode selon une forme d'exécution préférentielle de l'invention.

La fig. 10 est un diagramme opérationnel montrant une opération pour créer des colonnes de conditions d'usinage selon la présente invention.

La fig. 11 est un diagramme opérationnel montrant une opération d'usinage utilisant les colonnes de conditions d'usinage selon l'invention.

La fig. 12 est une table montrant un exemple de données d'usinage.

La fig. 13 est une table montrant un exemple de règle d'usinage.

La fig. 14 est une table montrant un exemple de colonnes de condition d'usinage.

La fig. 15 montre un exemple d'une table de conditions d'usinage pour un usinage en une opération pour un dispositif d'usinage par électro-érosion conventionnel.

La fig. 16 montre un exemple d'une table de conditions d'usinage pour un usinage en plusieurs opérations dans un dispositif d'usinage par électro-érosion conventionnel.

La fig. 17 est une vue schématique montrant la structure d'une machine d'usinage par électro-érosion conventionnelle à fil-électrode.

La fig. 18 est un schéma-bloc montrant la structure d'un circuit d'établissement de conditions d'usinage dans une machine, d'usinage par électro-érosion conventionnelle à fil-électrode.

La fig. 19 est un diagramme opérationnel montrant le fonctionnement du circuit d'établissement des conditions d'usinage montré à la fig. 18.

La fig. 20 est une vue schématique montrant la structure d'un dispositif d'usinage par électro-érosion conventionnelle à fil-électrode.

La fig. 21 montre un exemple de pièce à usiner.

La fig. 1 montre la structure d'un circuit d'établissement de conditions d'usinage dans une forme d'exécution préférentielle selon l'invention ou la référence numérique 21 montre une mémoire servant à mémoriser un groupe de conditions d'usinage élémentaires, 22 désigne un moyen d'appel/sélection de conditions d'usinage servant à appeler et sélectionner des conditions d'usinage adéquates à partir de la mémoire 21. Le numéro 23 désigne une mémoire servant à mémoriser de façon temporaire les conditions d'usinage appelées et sélectionnées par le moyen d'appel/sélection de conditions d'usinage 22, le numéro 24 désigne une mémoire pour mémoriser des programmes de changement de conditions d'usinage, le numéro 25 désigne un interrupteur de changement de conditions d'usinage servant à sélectionner un programme mémorisé dans la mémoire 24, le numéro 26 désigne un moyen opérationnel servant à changer temporairement les conditions d'usinage mémorisés dans la mémoire 23 à l'aide du programme de changement de conditions d'usinage mémorisées dans la mémoire 24 et sélectionnées selon un signal de l'interrupteur 25, et la référence numérique 27 désigne un moyen d'usinage pour un usinage selon les conditions d'usinage modifiées par le moyen opérationnel 26.

Le fonctionnement du circuit d'établissement des conditions d'usinage est montré à la fig. 2. Les étapes S-21 à S-29, S-31, et S-32 sont les mêmes que les étapes respectives S-1 à S-9, S-12 et S-13 dans le circuit d'établissement de conditions d'usinage conventionnelles montré à la fig. 19. Après l'exécution de l'étape S-30, lorsqu'on juge qu'il est nécessaire que les conditions d'usinage soient changées,

l'interrupteur de changement des conditions d'usinage est ajusté à l'étape S-30. Un programme de changement de conditions d'usinage est sélectionné sur la base de la position de l'interrupteur et les conditions d'usinage sont ainsi automatiquement changés.

5 Un programme permettant d'atteindre une vitesse d'usinage optimum, un programme servant à prévenir tout dommage fil-électrode ainsi qu'un programme permettant d'obtenir un usinage économique, constituent des exemples de programmes de changement de conditions d'usinage. Le programme pour l'optimisation de la vitesse d'usinage implique un contrôle de la vitesse d'usinage et du temps d'usinage. Le programme servant à la prévention des dommages du fil-électrode est utilisé pour établir les conditions de sorte que le fil-électrode ne soit pas endommagé. Le programme pour un usinage économique est utilisé pour contrôler la vitesse d'alimentation de l'électrode et pour réduire la consommation de courant électrique par cette même électrode.

10 Les conditions d'usinage incluant  $V_0$ ,  $I_p$ , ARRET, SA, SB, etc. sont changées en sélectionnant le programme de changement de conditions d'usinage. La fig. 8 montre un exemple 5 de programme de changement de conditions d'usinage servant à prévenir tout dommage au fil-électrode. Dans ce programme, il y a dix interrupteurs (0-9) servant à l'établissement des conditions d'usinage appropriées. Si le programme fait fonctionner l'interrupteur 0, un ensemble de conditions d'usinage optimum sont spécifiées. Si le programme sélectionne n'importe lequel des interrupteurs 1-9, les conditions d'usinage sont modifiées. Tel que montré, plus le nombre augmente, plus la probabilité d'un dommage au fil-électrode diminue. Une sélection programmée de conditions d'usinage incluant des conditions optimales et alternatives peut être obtenue pour une vitesse et un fonctionnement économiques.

15 Plusieurs types de programmes de changement de conditions d'usinage peuvent être utilisés. Par exemple, huit conditions d'usinages optimum sont montrées à la fig. 3. Ces conditions peuvent être changées pour des conditions appropriées pour une opération d'usinage de départ, une opération d'usinage d'une pièce étagée ou une opération d'usinage conique. Ces conditions modifiées sont respectivement montrées aux fig. 4, 5, 6 et 7. Dans ces figures, une pièce de SKD-11 comportant une épaisseur de 40 mm, et des électrodes de laiton ayant un diamètre de  $\phi 0.2$  sont utilisées comme exemples et le groupe de conditions d'usinage appropriées pour chaque opération est identifié. Dans les fig. 4-7, les conditions modifiées pour chaque opération sont représentées dans des cadres foncés. En créant des programmes de changement de conditions d'usinage qui reflètent les conditions d'usinage pour chacune des différentes opérations, tout type d'usinage peut rapidement être sélectionné et réalisé d'une façon stable.

20 Selon le dispositif d'usinage par électro-érosion de la présente invention construit de la façon mentionnée ci-haut, les conditions d'usinage peuvent être facilement changées, par une simple sélection, pour un usinage stable, économique et rapide, sans endommagement du fil-électrode.

25 La fig. 9 montre la structure d'un dispositif d'usinage par électro-érosion à fil-électrode selon une autre forme d'exécution préférentielle de l'invention où la référence numérique 58 désigne un moyen de mémorisation de données d'usinage permettant de mémoriser les données d'usinage, la référence numérique 59 désigne un moyen de récupération des données d'usinage permettant de récupérer automatiquement les données d'usinage à partir du moyen de mémorisation de données d'usinage 58, la référence numérique 60 désigne un moyen servant à générer les colonnes de conditions d'usinage afin de créer les colonnes de conditions d'usinage en fonction des données d'usinage par le moyen de récupération des données d'usinage 59, les règles d'usinage et des paramètres tels que le décalage, etc., fonctionnant automatiquement, la référence numérique 61 désigne un moyen de mémorisation de règle d'usinage servant à mémoriser les règles d'usinage pour créer les colonnes de conditions d'usinage et la référence numérique 62 désigne un moyen de mémorisation de colonnes de conditions d'usinage servant à mémoriser les colonnes de conditions d'usinage créées par le moyen de création de colonnes de conditions d'usinage 60.

30 Les données d'usinage mémorisées dans le moyen de mémorisation de données d'usinage 58 sont récupérées par le moyen de récupération des données d'usinage 59. Les règles d'usinage sont sélectionnées à partir du moyen de mémorisation des règles d'usinage 61. Dans le moyen de création de colonnes de conditions d'usinage 60, les données d'usinage récupérées par le moyen de récupération de données d'usinage 59 sont disposées en ordre logique d'usinage selon les règles d'usinage sélectionnées, les paramètres tels que l'écart, etc. sont pris en considération automatiquement et les colonnes de conditions d'usinage sont générées. Les colonnes de conditions d'usinage créées sont mémorisées dans le moyen de mémorisation de colonnes de conditions d'usinage 62. Par la suite, selon la fréquence d'usinage, les données d'usinage telles que les conditions électriques, le décalage, la vitesse de déplacement de la table, etc., sont récupérées à partir des colonnes de conditions d'usinage et l'usinage est réalisé.

35 L'opération consistant à générer les colonnes de conditions d'usinage est décrite à l'aide du diagramme opérationnel de la fig. 10. Le nombre de colonnes de conditions d'usinage à être créé est introduit (étape S-40). Une commande de récupération pour la première parmi une pluralité de combinaisons de rugosité de surface d'usinage, l'épaisseur de la pièce, etc., est introduite (étape S-41). Une commande de récupération comprend des facteurs de récupération (une électrode, l'épaisseur et le matériel de la pièce, la rugosité de surface d'usinage) et les numéros de colonnes de conditions d'usinage comme suit:

commande de récupération: G99WwMmTtRrCc  
 w: paramètre des électrodes  
 m: paramètre des matériaux de la pièce  
 t: paramètre de l'épaisseur de la pièce  
 5 r: paramètre de la rugosité de surface d'usinage  
 c: numéros de colonnes des conditions d'usinage

10 Les données d'usinage selon les paramètres  $w$ ,  $m$  et  $t$  sont récupérées à partir du moyen de mémorisation de données d'usinage 58 (étape S-42). Une règle d'usinage selon le paramètre  $r$  est sélectionnée à partir du moyen de mémorisation de règle d'usinage 61 (étape S-43). Selon la règle d'usinage, la donnée nécessaire est tirée des données d'usinage récupérées et est disposée en ordre logique d'usinage (étape S-44). Les règles d'usinage sont utilisées pour déterminer la fréquence d'usinage et l'ordre d'usinage. L'ordre d'usinage est déterminé par la quantité d'énergie de la décharge électrique, dans les données d'usinage. Les données d'usinage sont comme suit:

15 E: quantité d'énergie de la, décharge électrique  
 Vo: sélection de tension  
 WS: vitesse d'alimentation de l'électrode  
 Ip: établissement de la puissance  
 20 WT: tension du fil-électrode  
 ARRET: temps d'arrêt  
 LQ: débit de liquide diélectrique  
 tp: temps de fonctionnement  
 LR: résistivité du liquide diélectrique  
 25 Co: capacité du condensateur  
 Vg: tension du servo-mécanisme  
 F: vitesse de déplacement de la table  
 G: espacement de la décharge électrique  
 S: tolérance de finition

30 Par exemple, une des colonnes de conditions d'usinage comprend les conditions électriques  $V_o-V_g$ , la vitesse  $E$  de déplacement de la table et le décalage. Le décalage doit être appliqué (étape S-45) et l'expression correspondante utilisant les données d'usinage devient comme suit:

$$35 \quad H_j = W / 2 + G_n + \sum_{k=1}^n S_k - \sum_{k=1}^j S_k$$

40 H: décalage  
 n: fréquence usinage totale  
 D: diamètre du fil-électrode  
 j: ordre d'usinage

45 Les conditions électriques, la vitesse de déplacement de la table et le décalage, disposés en ordre logique d'usinage, forment une colonne de conditions d'usinage (étape S-46), et les nombres nécessaires de colonnes sont créés par la commande de récupération. On détermine si toutes les colonnes de conditions d'usinage sont créées (étape S-47). Si elles ont toutes été créées l'usinage est alors effectué (étape S-48).

50 L'opération d'usinage par les colonnes de conditions d'usinage est décrite avec le diagramme opérationnel de la fig. 11. Le compteur de fréquence d'usinage est remis à zéro (étape S-50). Un comptage est effectué à l'aide d'un compteur de fréquence d'usinage (étape S-51). Un nombre de colonnes de conditions d'usinage est introduit (étape S-52). La fréquence d'usinage est introduite (étape S-53). Les conditions électriques, le décalage et la vitesse de déplacement de la table sont introduits (étape S-54). Les conditions électriques, le décalage et la vitesse de déplacement de la table sont établis (étape S-55). L'alimentation de l'usinage est mis en opération (étape S-56). On détermine si l'usinage est terminé (étape S-57). Si cela est le cas, la prochaine forme est usinée (étape S-58).

55 Un exemple de création de colonnes de conditions d'usinage est décrit comme suit. La fig. 12 montre un exemple de données d'usinage. Chaque donnée d'usinage est mémorisée dans le moyen de mémorisation de données d'usinage 58 en fonction des numéros (105-114) de données d'usinage. Chaque numéro représente une combinaison différente d'électrodes ( $w$ ), de matériau de pièce ( $m$ ) et d'épaisseur de pièce ( $t$ ). Ainsi, la récupération des données d'usinage, grâce au moyen de récupération des données d'usinage 59, peut être effectuée en fonction d'une électrode ( $w$ ) donnée, d'un matériel ( $m$ ) de la pièce, d'une épaisseur ( $t$ ) de la pièce. Des données d'usinage récupérées sont transmises au moyen de création des colonnes de conditions d'usinage 60.

65 Plusieurs procédés d'usinage sont sélectivement réalisés en ajustant l'énergie de décharge électrique

en fonction des ordres d'usinage établis selon la rugosité de surface d'usinage. Les règles d'usinage gouvernant de telles méthodes incluent la sélection d'un niveau approprié de décharge d'énergie de décharge électrique selon les ordres d'usinage établis pour chacun des choix de rugosité de surface d'usinage. La fig. 13 montre un exemple de règle d'usinage. Les règles d'usinage sélectionnées selon le paramètre ( $r$ ) de rugosité de surface d'usinage sont transmises au moyen de création de colonnes de conditions d'usinage 60.

La fig. 14 montre un exemple de colonne de conditions d'usinage ainsi créée. Les données d'usinage transmises au moyen de création de colonnes de conditions d'usinage 60 sont disposées en ordre logique d'usinage (1-7) selon les règles d'usinage établies sur la base de l'énergie de décharge électrique utilisée dans les données d'usinage. Un décalage ( $H$ ) est calculé en utilisant l'expression décrite ci-dessus se référant aux ordres d'usinage. Ainsi, la création des colonnes de conditions d'usinage est terminée. Les colonnes de conditions d'usinages créées sont transmises au moyen de mémorisation des colonnes de condition d'usinage 62 et sont mémorisées en fonction des nombres de colonnes de conditions d'usinage.

Tel qu'expliqué ci-haut, en fonction de la méthode d'usinage par électro-érosion et la machine associé selon l'invention, en récupérant automatiquement les données d'usinage et en créant automatiquement les colonnes de conditions d'usinage, les paramètres d'usinage ne doivent pas être établis par l'unité de contrôle principale; la préparation pour l'usinage peut ainsi être réalisée dans un temps court et avec une bonne précision, et une pluralité de colonnes de conditions d'usinage sont facilement créées de sorte qu'un usinage continu peut être facilement réalisé même lorsqu'il y a plusieurs combinaisons de rugosité de surface d'usinage et différentes épaisseurs de pièce, etc.

### Revendications

1. Dispositif d'usinage par électro-érosion dans lequel l'usinage est réalisé à l'aide de décharges électriques se produisant entre une électrode et une pièce, comprenant:  
une mémoire (21) servant à mémoriser un groupe de conditions d'usinage élémentaires,  
un moyen d'appel/sélection de conditions d'usinage (22) servant à appeler et sélectionner des conditions d'usinage de ladite mémoire (21),  
un interrupteur (25) servant à contrôler une fonction de changement des conditions d'usinage, et  
un moyen opérationnel (26) permettant de changer les conditions d'usinage en fonction des programmes de changement de conditions d'usinage, opérationnel en réponse à un signal provenant dudit interrupteur (25), afin que  
l'usinage (27) soit réalisé en fonction des conditions d'usinage modifiées par ledit moyen opérationnel (26).

2. Dispositif d'usinage par électro-érosion selon la revendication 1 comprenant:  
une mémoire (23) permettant de mémoriser temporairement les conditions d'usinage appelées et sélectionnées par ledit moyen d'appel/sélection (22) de conditions d'usinage.

3. Dispositif d'usinage par électro-érosion selon la revendication 2 comprenant:

une mémoire (24) servant à mémoriser les programmes de changement de conditions d'usinage.

4. Dispositif d'usinage par électro-érosion selon la revendication 1, dans lequel ledit interrupteur (25) sert à changer les conditions d'usinage en fonction d'au moins une des vitesses d'usinage optimales, de façon à prévenir tout dommage au fil-électrode et pour permettre un usinage économique.

5. Dispositif d'usinage par électro-érosion, dans lequel l'usinage est réalisé au moyen d'une décharge électrique entre une électrode et une pièce, comprenant:

des moyens de mémorisation de données d'usinage (58) permettant de mémoriser les données d'usinage,

des moyens de récupération des données d'usinage (59) permettant de récupérer automatiquement certaines données d'usinage en fonction de paramètres provenant desdits moyens de mémorisation de données d'usinage (58),

des moyens de mémorisation de règles d'usinage (61) permettant de mémoriser les règles d'usinage, et  
des moyens de création de colonnes de conditions d'usinage (60) permettant de disposer en ordre logique d'usinage les données d'usinage récupérées par ledit moyen de récupération des données d'usinage (59) selon les règles d'usinage sélectionnées en fonction de certains paramètres à partir desdits moyens de mémorisation de règles d'usinage (61) pour contrôler automatiquement les paramètres et générer les colonnes de conditions d'usinage.

6. Dispositif d'usinage par électro-érosion selon la revendication 5, dans lequel les moyens de récupération des données d'usinage (59) récupèrent automatiquement les données d'usinage à partir desdits moyens de mémorisation des données d'usinage (58) à l'aide d'une commande de récupération comprenant des facteurs de récupération tels que l'électrode, le matériau de la pièce et son épaisseur et identifie les colonnes de conditions d'usinage.

7. Procédé de commande d'une machine d'usinage par électroérosion comprenant les étapes suivantes:

spécification de certains paramètres d'usinage; récupération automatique des données d'usinage à partir d'un moyen de mémorisation de données d'usinage en fonction desdits paramètres;

## CH 689 824 A5

sélection des règles d'usinage en fonction desdits paramètres à partir de moyens de mémorisation de règles d'usinage;  
disposition desdites données d'usinage récupérées dans un ordre logique d'usinage en fonction desdites règles d'usinage;

5 utilisation automatique desdites données disposées et création d'au moins une condition d'usinage et usinage sur la base de ladite, au moins une colonne de conditions d'usinage créée.

10

15

20

25

30

35

40

45

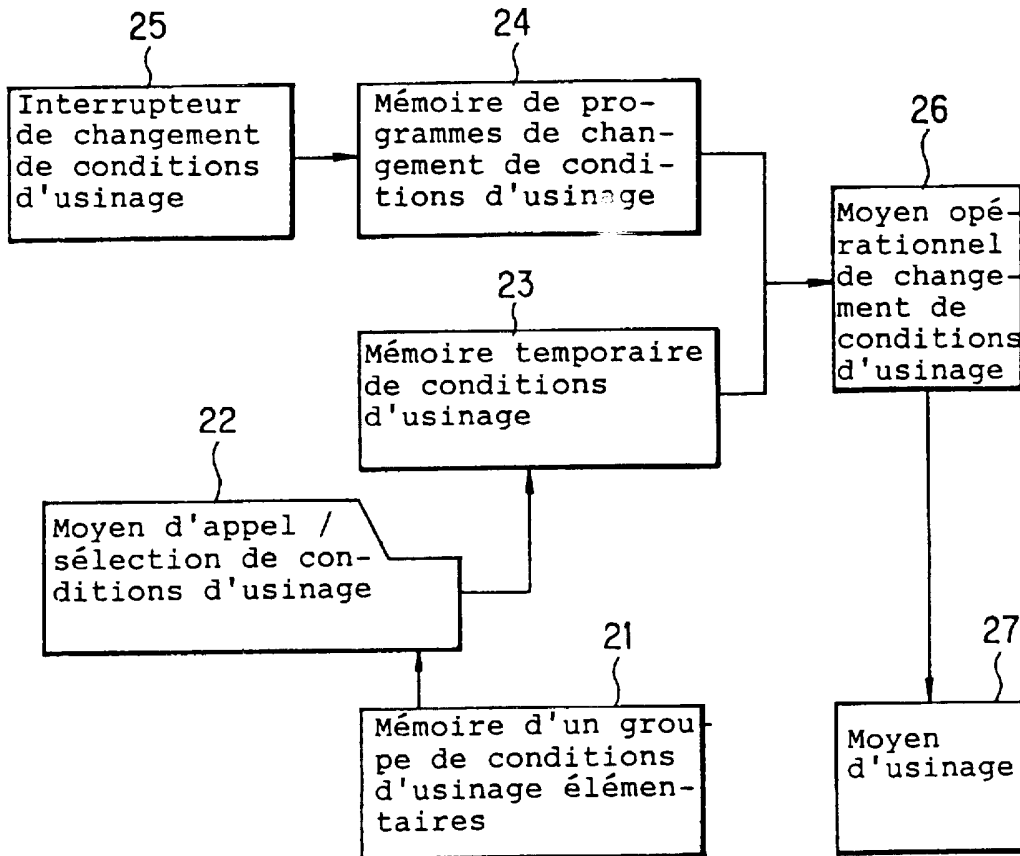
50

55

60

65

FIG.1



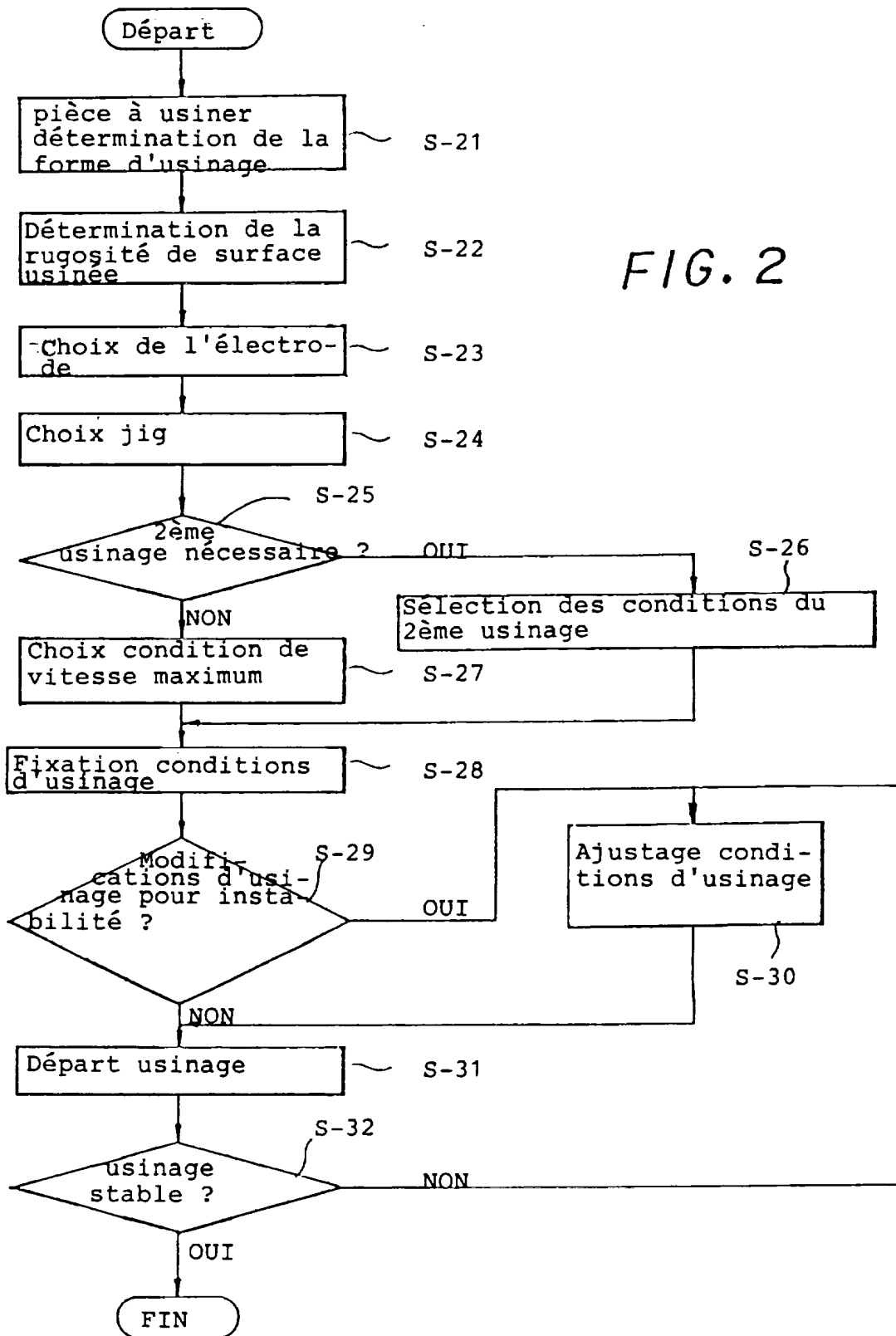
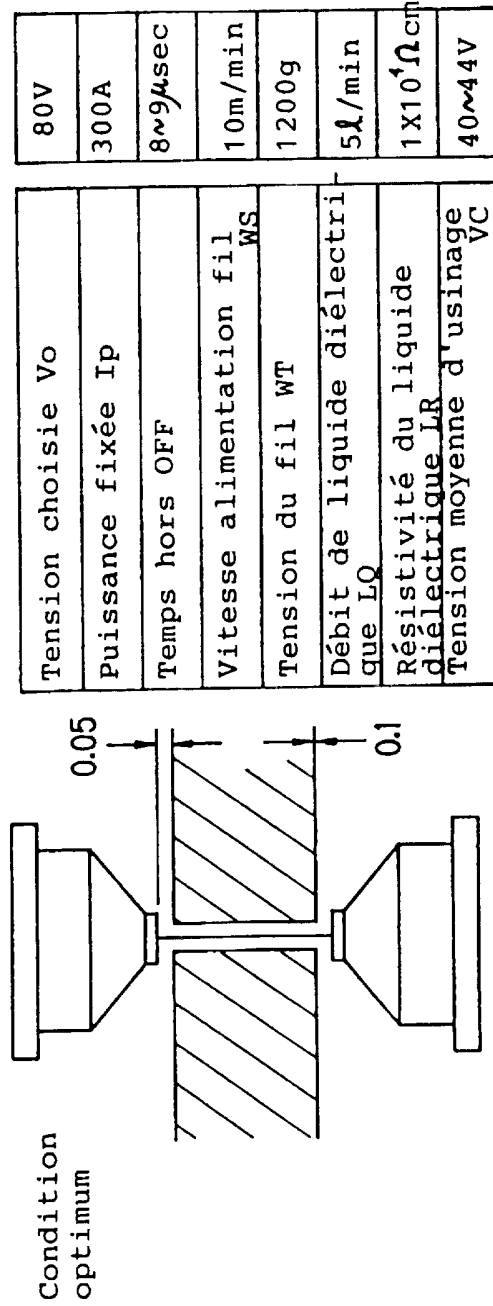


FIG. 3



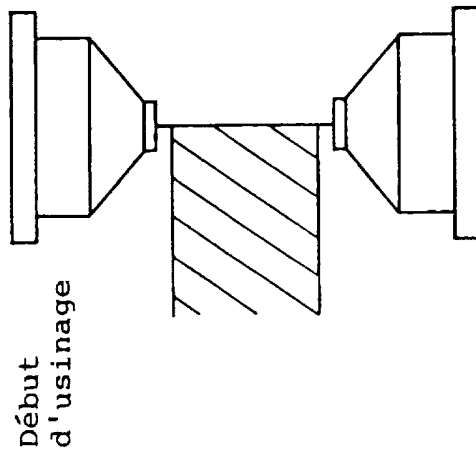
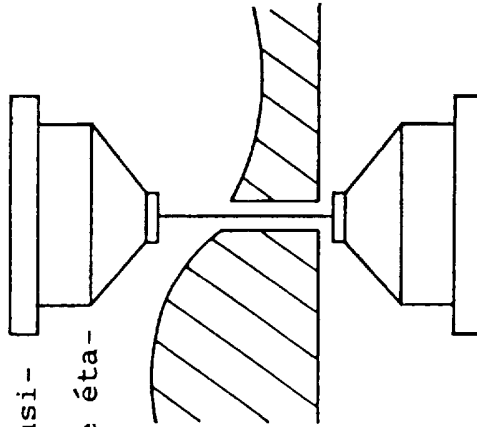


FIG. 4

Tension choisie $V_0$	80V
Puissance fixée $I_p$	150A
Temps hors OFF	30 $\mu$ sec
Vitesse alimentation fil WS	8m/sec
Tension du fil WT	1000g
Débit de liquide diélectrique LQ	5 $\ell$ /min
Résistivité du liquide diélectrique LR	1x10 <sup>4</sup> $\Omega$ cm
Tension moyenne d'usinage VC	50V

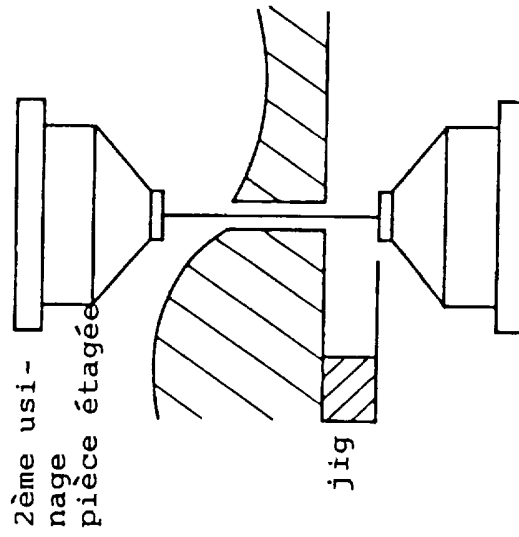
FIG. 5

1er usi-  
nage  
pièce éta-  
gée



Tension choisie Vo	80V
Puissance fixée Ip	270A
Temps hors OFF	8~9μsec
Vitesse alimentation fil WS	10m/min
Tension du fil WT	1200g
Débit de liquide diélectrique LQ	5l/min
Résistivité du liquide diélectrique LR	1x10 <sup>4</sup> Ωcm
Tension moyenne d'usinage	45~49V

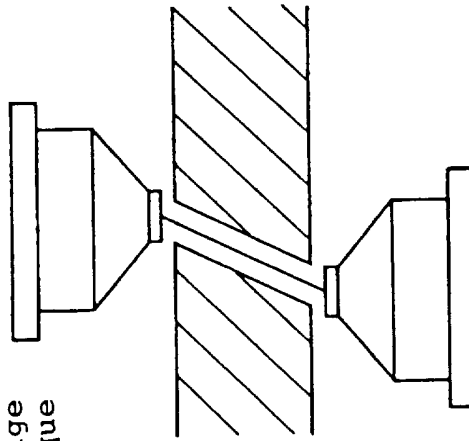
FIG. 6



Tension choisie $V_0$	80V
Puissance fixée $I_p$	210A
Temps hors OFF	8~9 $\mu$ sec
Vitesse alimentation fil <sup>WS</sup>	10m/min
Tension du fil WT	1200g
Débit de liquide diélectrique $L_0$	5 $\mu$ /min
Résistivité du liquide diélectrique LR	1 $\times 10^4 \Omega \text{cm}$
Tension moyenne d'usinage $V_C$	45~49V

FIG. 7

Usinage  
oblique



Tension choisie $V_0$	80V
Puissance fixée $I_p$	270A
Temps hors OFF	$8 \sim 9 \mu\text{sec}$
Vitesse alimentation fil $W_S$	10m/min
Tension du fil WT	1000g
Débit de liquide diélectrique $L_Q$	5l/min
Résistivité du liquide diélectrique $L_R$	$1 \times 10^4 \Omega \text{cm}$
Tension moyenne d'usinage $V_0$	45~49V

FIG. 8

Interrupteur	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Choix de tension (Vo)	tous	←	←	←	←	←	←	←	←	←
Choix puissance (Ip)	0.3	0	-30	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-210
	0.25	0	-30	-30	-30	-60	-90	-120	-150	-180
	0.2	0	-30	-30	-30	-30	-60	-90	-120	-120
Temps hors (OFF)	tous	0	0	0	← 1 μsec	+ 2 μsec	+ 3 μsec	+ 4 μsec	+ 5 μsec	+ 7 μsec
Vitesse alimentation fil (WS)	tous	0	0	0	- 2 μs/min	- 2 μs/min	- 2 μs/min	- 2 μs/min	- 4 μs/min	- 4 μs/min
Tension du fil (WT)	tous	←	←	←	←	←	←	←	←	←
Débit de liquide diélectrique (FD)	tous	←	←	←	←	←	←	←	←	←
Résistivité du liquide diélectrique (LQ)	tous	←	←	←	←	←	←	←	←	←
Tension d'usinage moyenne (VC)	tous	0	+5V	+5V	+5V	+10V	+10V	+10V	+10V	+10V

FIG. 9

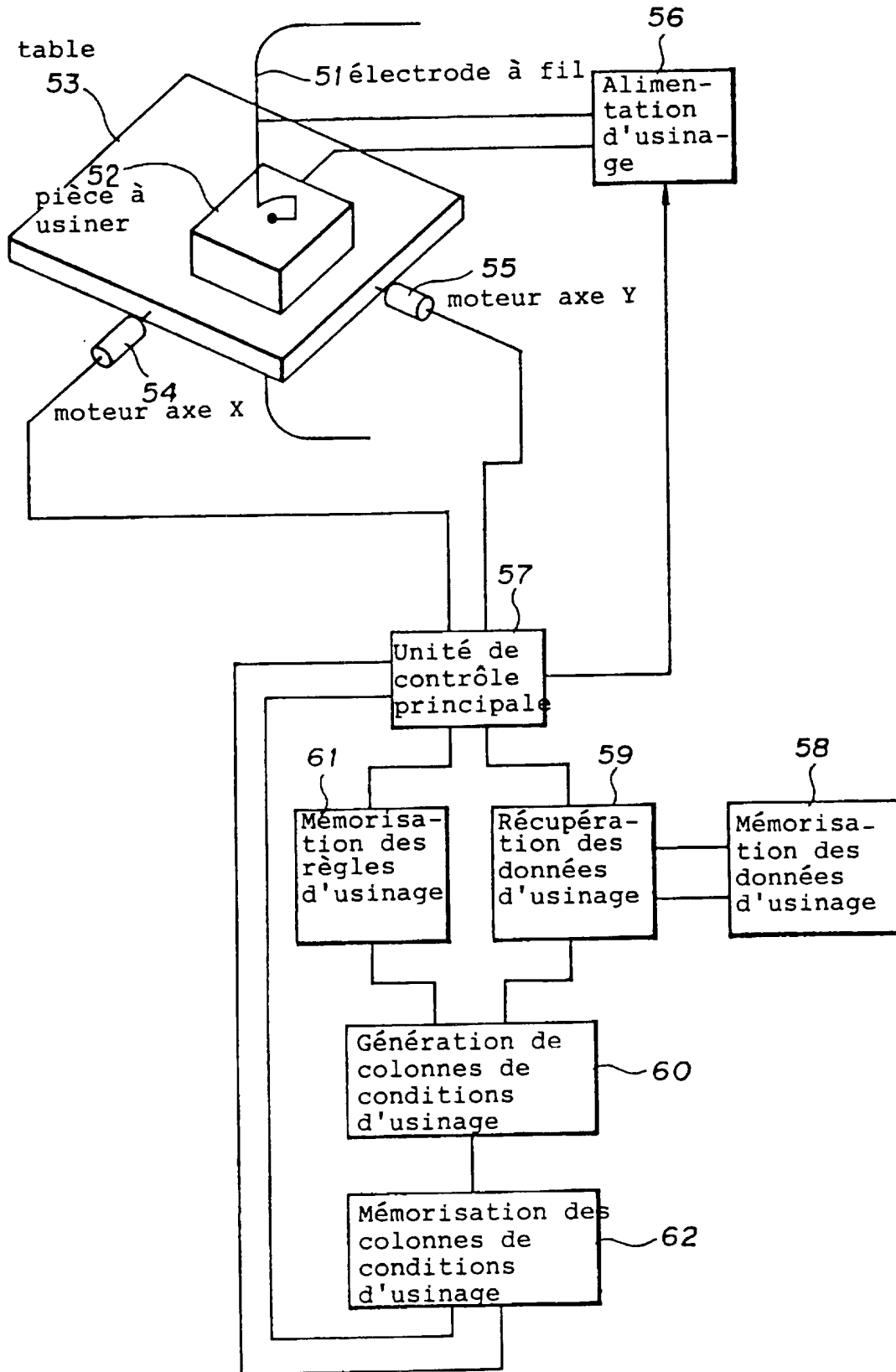


FIG. 10

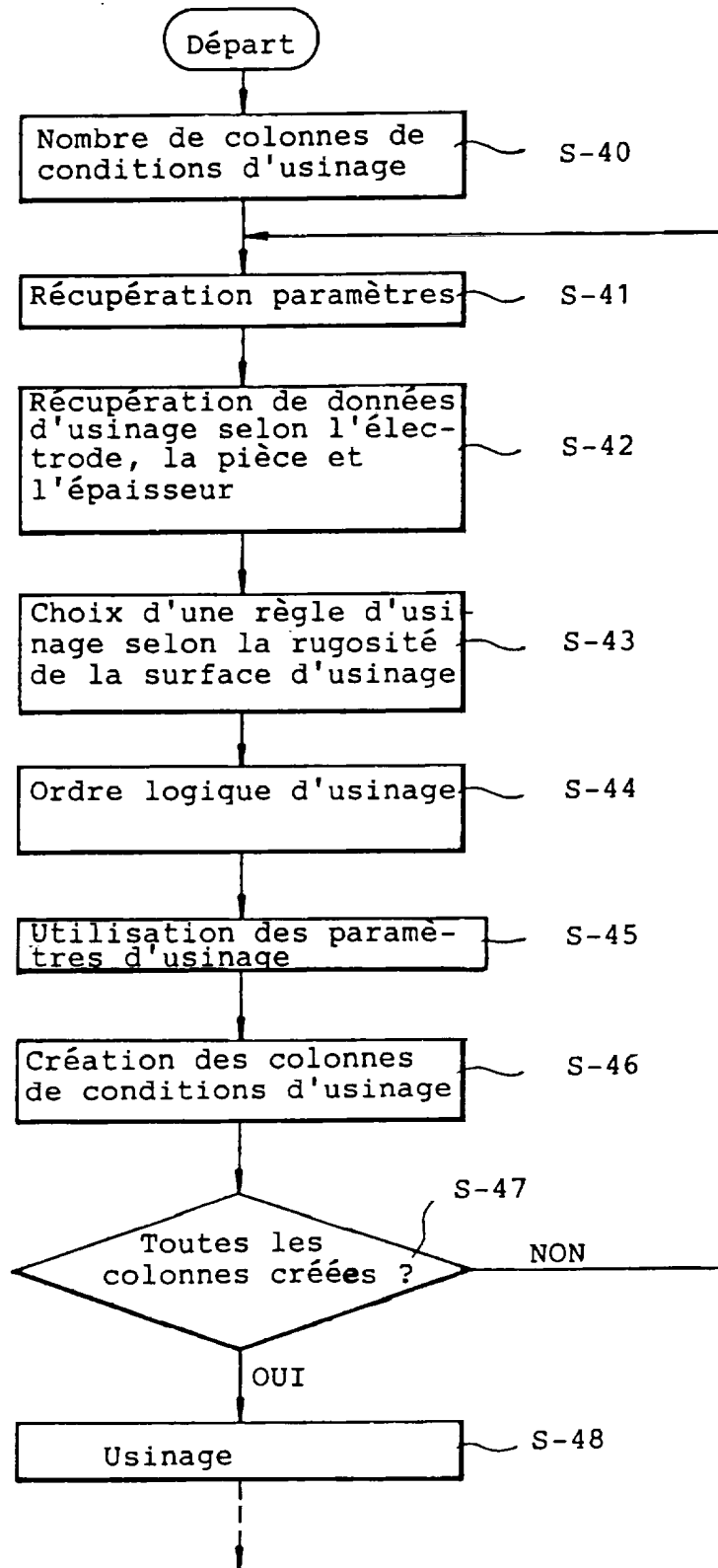


FIG.11

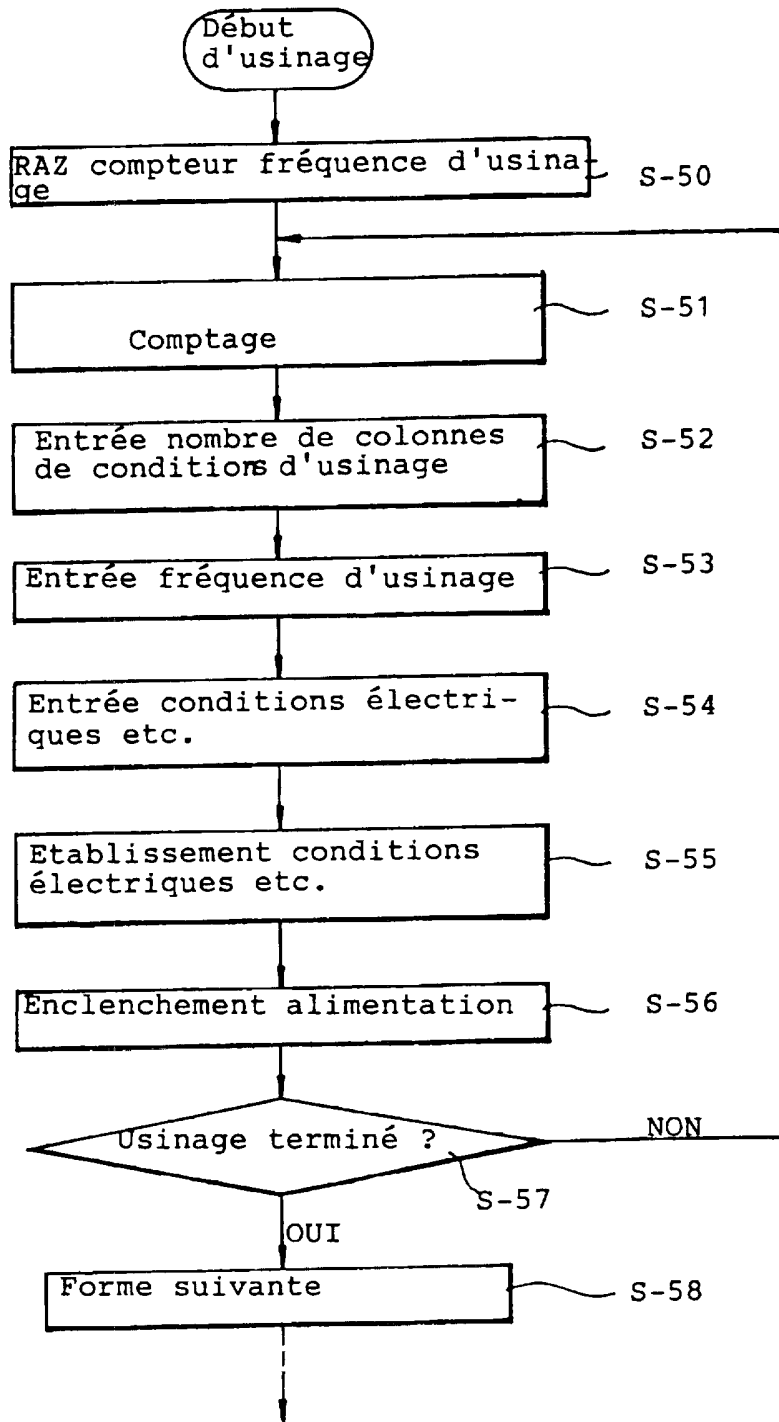


FIG. 12

Numéro d'information d'usinage	1 0 5	1 0 6	1 0 7	1 0 8	1 0 9	1 1 0	1 1 1	1 1 2	1 1 3	1 1 4
Electrode (w)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pièce (m)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Epaisseur (t)	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6
Energie de décharge (E)	1 0 A	8 A	6 A	4 A	2 A	1 A	0.5 A	1 0 A	8 A	6 A
Tension (Vo)	8 0 V	8 0 V	8 0 V	7 0 V	6 0 V	5 0 V	5 0 V	8 5 V	8 5 V	8 5 V
Puissance (Ip)	300A	250A	200A	150A	100A	50A	25A	300A	250A	200A
Arrêt (OFF)	10 μSEC	10 μSEC	10 μSEC	12 μSEC	12 μSEC	5 μSEC	5 μSEC	10 μSEC	10 μSEC	10 μSEC
Marche (τp)	1 μSEC	2 μSEC	2 μSEC	2 μSEC	2 μSEC	1 μSEC	1 μSEC	2 μSEC	2 μSEC	2 μSEC
Vitesse fil (WS)	5m/min	5m/min	5m/min	5m/min	5m/min	5m/min	5m/min	5m/min	5m/min	5m/min
Tension fil (WT)	1000g	1000g	1000g	1000g	1000g	1000g	1000g	1000g	1000g	1000g
Débit fluide (LQ)	10 l/min	10 l/min	10 l/min	10 l/min	10 l/min	10 l/min	10 l/min	10 l/min	10 l/min	10 l/min
Résistivité fluide (LR)	500000cm	500000cm	500000cm	500000cm	500000cm	500000cm	500000cm	500000cm	500000cm	500000cm
Capacité (Co)	1.5 μF	1.5 μF	1.5 μF	1.0 μF	1.0 μF	0.2 μF	0.1 F	1.5 μF	1.5 μF	1.5 μF
Tension de servo (Vg)	4 0 V	4 5 V	5 0 V	5 0 V	5 0 V	3 0 V	2 5 V	4 0 V	4 5 V	5 0 V
Vitesse alimentation (F)	3. 0	2. 5	2. 0	1. 5	5. 0	5. 0	5. 0	3. 0	2. 5	2. 0
Vitesse alimentation (F)	mm/min	mm/min	mm/min	mm/min	mm/min	mm/min	mm/min	mm/min	mm/min	mm/min
Espace de décharge (G)	40 μm	35 μm	30 μm	25 μm	10 μm	7 μm	6 μm	45 μm	40 μm	35 μm
Etat de surface (S)	0 μm	0 μm	0 μm	0 μm	60 μm	20 μm	10 μm	0 μm	0 μm	0 μm

FIG. 13

		PARAMETRE DE RUGOSITE DE SURFACE					
		1	2	3	4	5	6
1er	Ordre d'usinage	plus 10A	moins 2A	moins 10A	moins 10A	moins 6A	moins 4A
2ème		moins 2A	moins 2A	moins 2A	moins 2A	moins 1A	
3ème		moins 2A	moins 1A	moins 1A	moins 1A		
4ème		moins 1A	moins 0.5A				
5ème		moins 0.5A					
6ème		moins 0.2A					
7ème							
Nombre d'usinages		6	4	3	2	2	1

FIG. 14

Numéro de colonne de conditions d'usinage (C)	1 0 0						
Ordre d'usinage	1	2	3	4	5	6	7
Tension (Vo)	8 0 V	6 0 V	5 0 V				
Puissance (Ip)	3 0 0 A	1 0 0 A	5 0 A				
Arrêt (OFF)	10 μSEC	12 μSEC	5 μSEC				
Marche (rP)	1 μSEC	2 μSEC	1 μSEC				
Vitesse fil (WS)	5m/min	5m/min	5m/min				
Tension fil (WT)	1000g	1000g	1000g				
Débit fluide (LQ)	10 l/min	10 l/min	10 l/min				
Résistivité fluide (LR)	50000cm	50000cm	50000cm				
Capacité (Co)	1.5 μF	1.0 μF	0.2 μF				
Tension de servo (Vg)	4 0 V	5 0 V	3 0 V				
Vitesse alimentation (F)	3.0 mm/min	5.0 mm/min	5.0 mm/min				
Décalage (H)	187 μm	127 μm	107 μm				
Nombre d'usinages	3						

FIG. 15

Electrode	Pièce	Epaisseur (mm)	Débit liquide diélectrique (l/min)
laiton $\phi$ 0.2	SKD-11	60	varne ouverte
			haut 3~4 fond 4~6

classification usinage	Usinage standard			oblique			usinage départ		
	1	2	8	10	20	30	10	20	30
Choix tension Vo (V)	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Puissance Ip (A)	270	240	180	150	120	150	240	240	150
Arrêt OFF ( $\mu$ s)	9~10	9~10	9~10	9~10	9~10	14	9~10	9~10	14
Vitesse avance fil WS (m/min)	12	12	10	10	10	8	10	10	8
Tension fil WT (G)	1000	1200	1200	1200	1200	1000	1000	1200	1000
Débit liquide LQ ( $\lambda$ )	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Résistivité liquide LR (Ωcm)	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>
Tension moyenne d'usinage VC (V)	38~44	38~44	38~44	38~44	38~44	38~44	45~49	45~49	50~55
Vitesse d'usinage fixe VS (mm/min)	2.5	2.2	2.0	1.7	1.4	0.6	1.6	1.6	0.5
Vitesse d'usinage VS (mm/min)	246~222	221~197	196~171	17~145	144~119	0.59~0.41	161~147	161~147	0.5~0.3
Décalage ( $\mu$ m)	148~153	146~151	144~149	142~147	141~146	130~135	149~154	149~154	
Rugosité ( $\mu$ mRmax)	20~18	19~17	17~15	15~13	14~12	12~10	19~17	19~17	

FIG. 16

Electrode	Pièce	Epaisseur (mm)
laiton $\phi$ 0.2	SKD-11	60

Rugosité ( $\mu$ mRmax)	
Fréquence d'usinage	
Choix tension Vo (V)	
Puissance Ip (A)	
Arrêt OFF ( $\mu$ s)	
Vitesse avance fil WS (m/min)	
Tension fil WT (g)	
Débit liquide LQ ( $\lambda$ )	
RÉSISTIVITÉ liquide LR ( $\Omega$ cm)	
Tension moyenne d'usinage VC (V)	
vitesse d'usinage fixée FA (mm/min)	
Vitesse d'usinage réelle FC (mm/min)	
Décalage ( $\mu$ m)	

Départ	<18~20>			<12~14>			<6~8>			<3~5>		
	1er	2ème	plus de 3	1er	2ème	plus de 3	1er	2ème	plus de 3	1er	2ème	plus de 3
85	85	80	85	85	80	100	80	80	140	80	80	140
150	240	240	240	240	120	30	240	120	20	240	120	20
30	9	9	9	30	30	1	9	30	10	10	35	10
8	12	12	12	10	10	10	12	10	12	12	12	12
1200	1200	1200	1200	1800	1800	1800	1200	1800	1800	1400	1800	1800
5	5	5	5	1	1	1	5	1	1	5	1	1
$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$
50	38	38	38	45~55	38	40~50	38	45~55	40~50	40	35~45	13~19
0.8	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0	3.0	2.0	1.5	1.8
	1.8~2.0	1.8~2.0	1.8~2.0	3.0~6.0	1.8~2.0	3.0~9.0	1.8~2.0	3.0~6.0	3.0~9.0	1.8~2.0	1.5~3.0	3.6~5.4
	145	170	170	110	184	109	184	124	109	192	127	107

FIG. 17

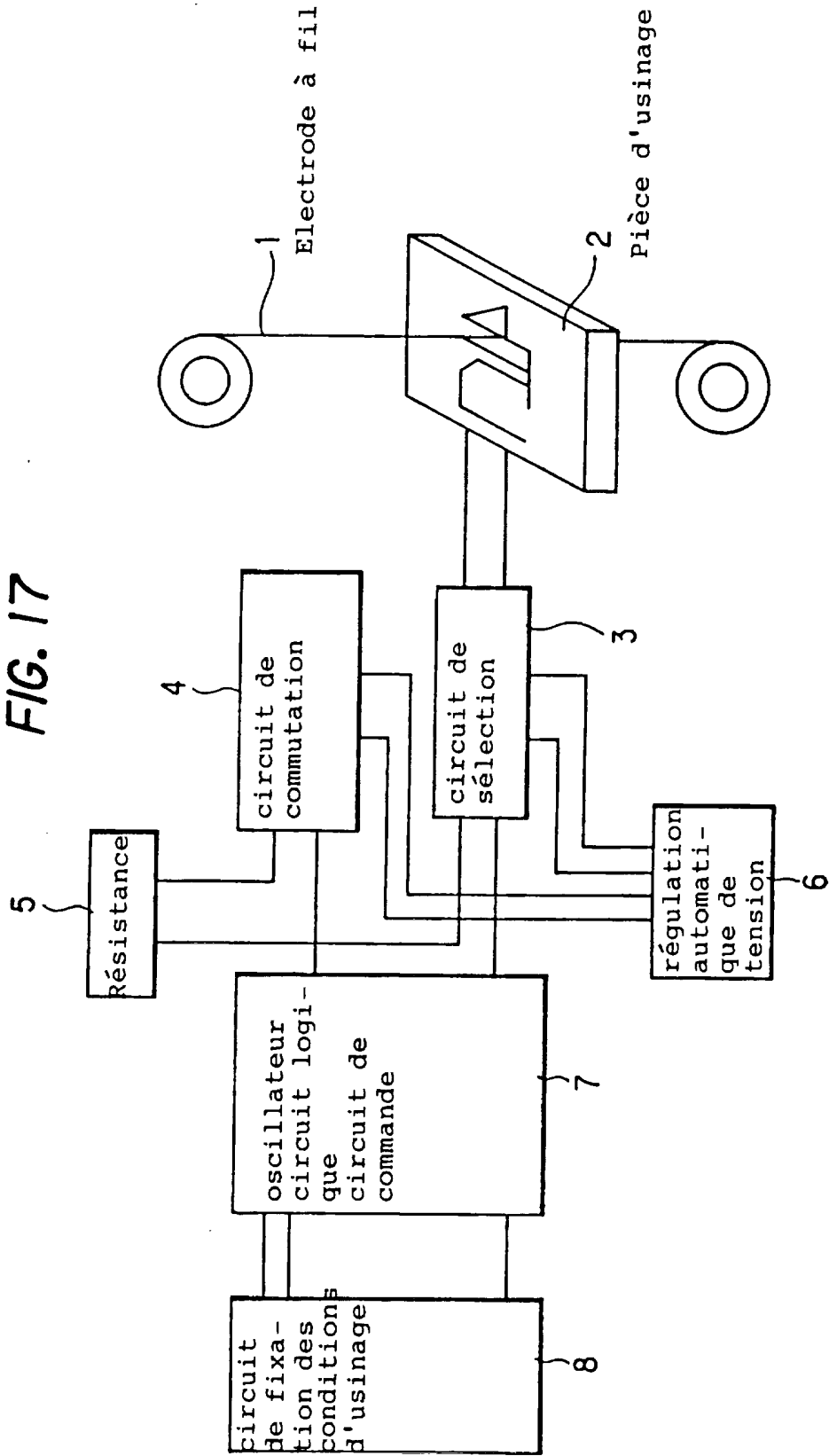


FIG. 18

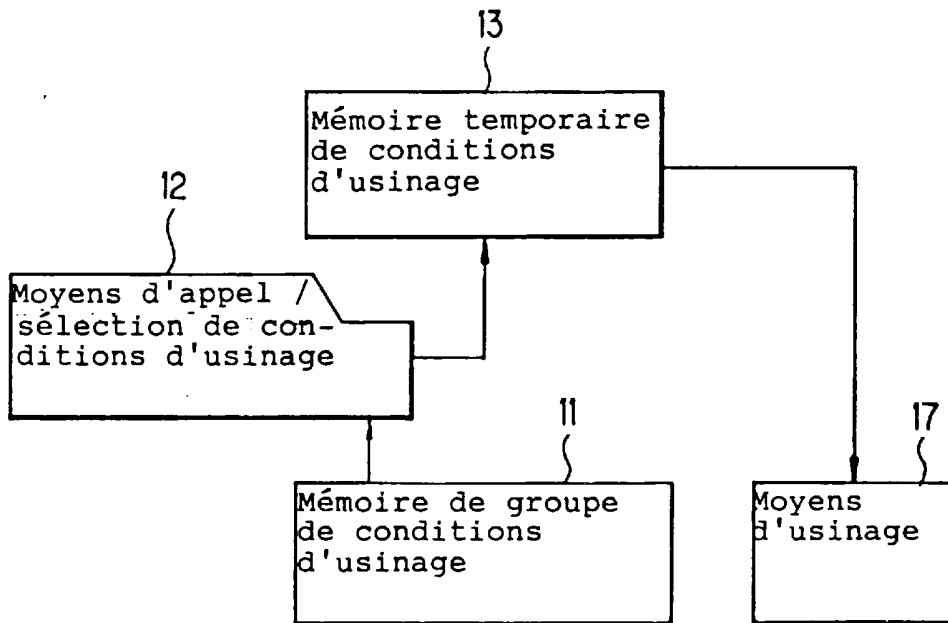


FIG. 19

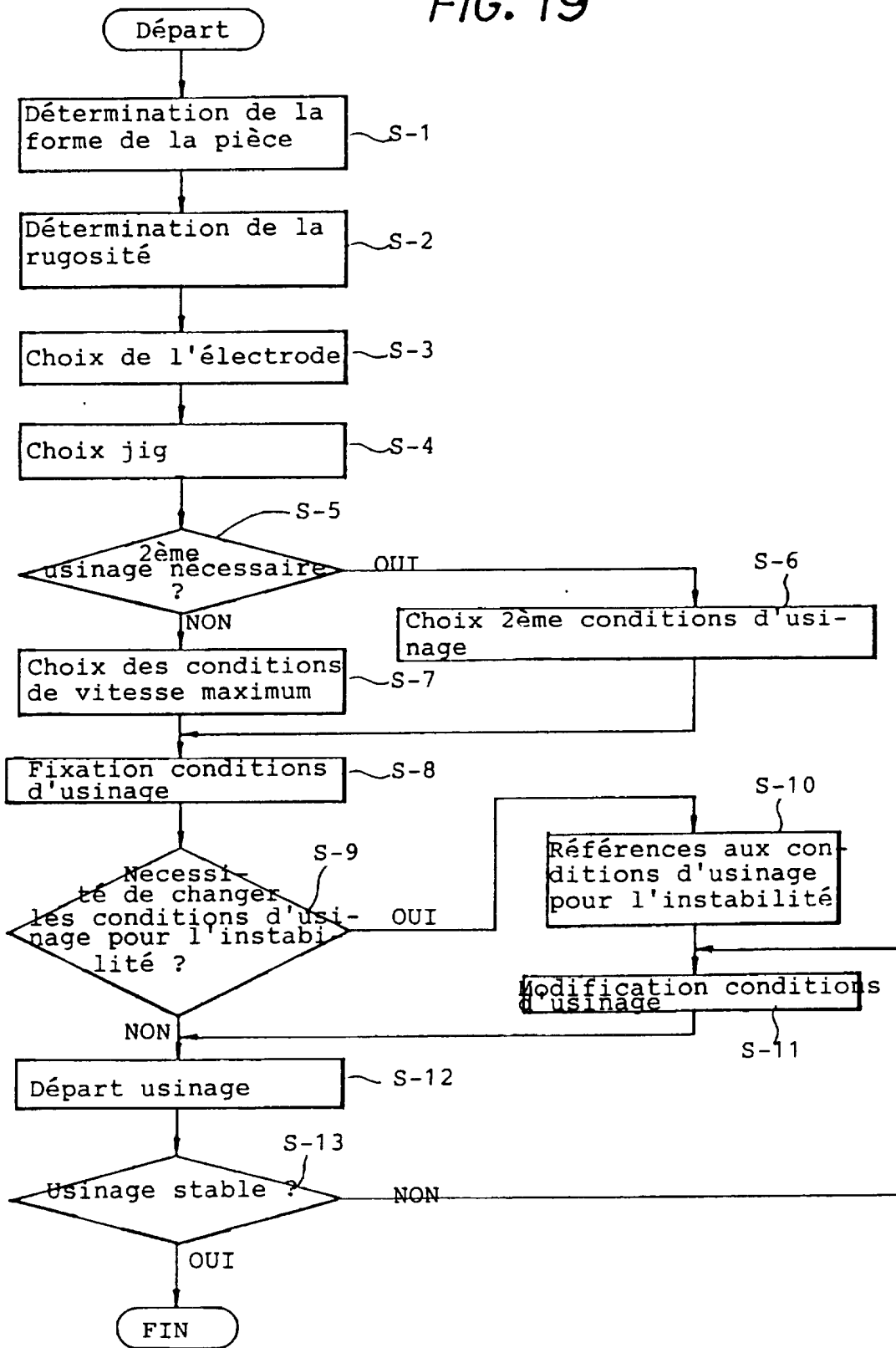


FIG. 20

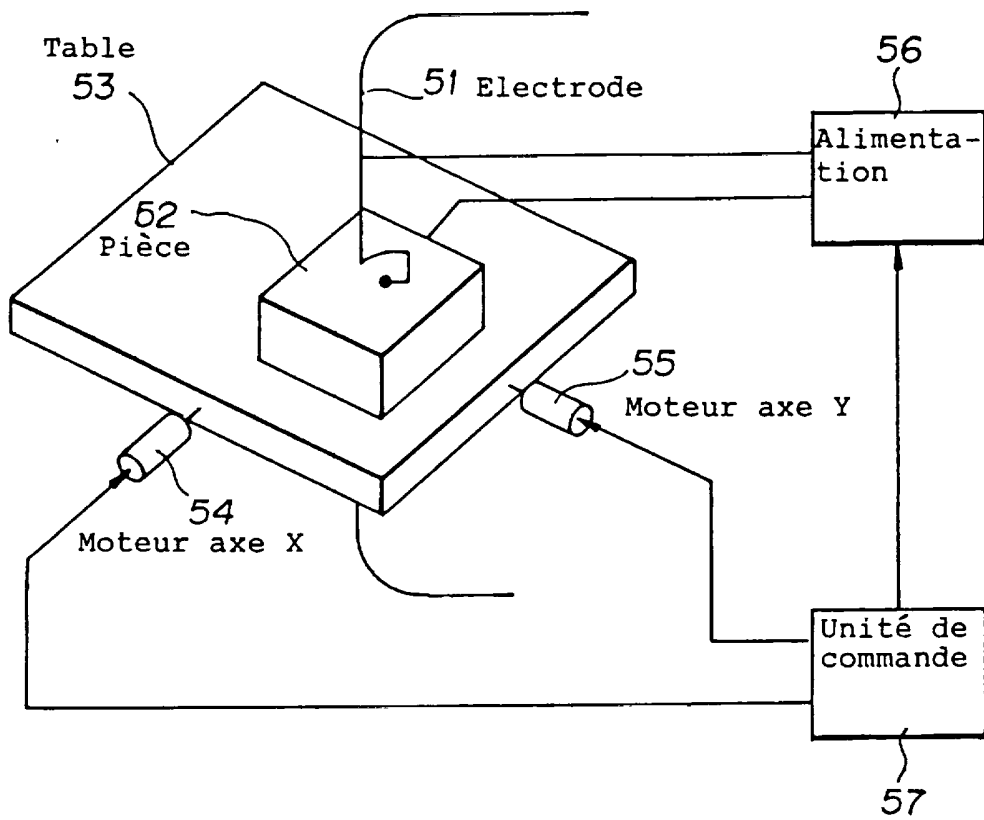


FIG. 21

