

①9



CONFÉDÉRATION SUISSE

INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

①1 CH 692 278 A5

⑤1 Int. Cl.⁷: B 23 H 007/20
B 23 H 007/32

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: 01213/97

②2 Date de dépôt: 23.05.1997

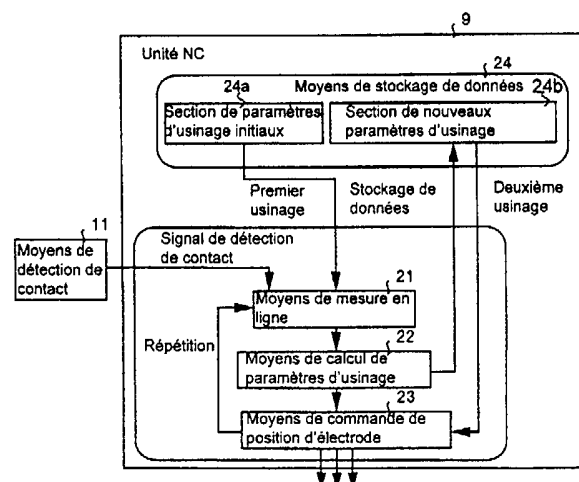
③0 Priorité: 31.10.1996 JP 8-290940

②4 Brevet délivré le: 30.04.2002

④5 Fascicule du brevet
publiée le: 30.04.2002⑦3 Titulaire(s):
Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha,
2-3, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku/Tokyo (JP)⑦2 Inventeur(s):
Takui Magara, 2-3, Marunouchi 2-chome,
Chiyoda-ku, 100 Tokyo (JP)
Takashi Yuzawa, 2-3, Marunouchi 2-chome,
Chiyoda-ku, Tokyo 100 (JP)⑦4 Mandataire:
Bovard AG, Patentanwälte, Optingenstrasse 16,
3000 Bern 25 (CH)

⑤4 Appareil et procédé d'usinage par électro-érosion.

⑤7 L'appareil d'usinage par électro-érosion comprend des moyens de stockage (24a) de paramètres d'usinage initiaux tels que tracé de contour en deux dimensions d'une forme à usiner, dimensions de la forme à usiner, taux de déplacement selon la direction axiale (Z) d'une électrode (1) lors du déplacement de ladite électrode selon des directions horizontales (X, Y), ainsi qu'une fréquence de mesures en ligne, des moyens de mesure en ligne (21) pour mesurer une profondeur d'usinage selon la fréquence de mesure, des moyens de calcul de paramètres d'usinage (22) pour calculer des paramètres d'usinage tels qu'une profondeur d'usinage par tracé de contour, des nombres d'usinage à effectuer ultérieurement, et des incréments pour un décalage de contour selon le résultat de mesure de profondeur d'usinage par les moyens de mesure en ligne (21), et des moyens de commande de positionnement (23) de l'électrode (1) selon les paramètres d'usinage calculés par les moyens de calcul de paramètres d'usinage.



Description

La présente invention concerne un appareil ainsi qu'un procédé d'usinage par électro-érosion, et plus particulièrement un appareil et un procédé d'usinage par électro-érosion pour effectuer un usinage tridimensionnel en utilisant une électrode d'usinage simple.

De manière conventionnelle, on connaît un appareil d'usinage par électro-érosion pouvant usiner une pièce selon une forme tri-dimensionnelle désirée utilisant une électrode d'usinage ayant une forme simple, telle qu'une forme cylindrique, une forme de pilier ou une forme prismatique ou semblable, en imposant une commande tri-dimensionnelle à l'électrode par des moyens de commande numériques. Dans les appareils d'usinage par électro-érosion de ce type, il n'est pas nécessaire de fabriquer une électrode d'usinage ayant une forme tri-dimensionnelle compliquée, ce qui permet de réduire le coût de fabrication du moule ainsi que la durée de fabrication. Une électrode de forme simple est aussi employée comme électrode d'usinage ce qui permet de facilement développer un système CAM ainsi que d'escompter une automatisation du procédé d'usinage.

Cependant ce type d'appareil d'usinage par électro-érosion présente des problèmes concernant l'épuisement ou l'usure de l'électrode, ou la précision de la forme usinée par l'électrode, puisque l'appareil usine une large surface avec sa simple électrode.

De manière à résoudre ces problèmes, la publication japonaise HEI 5-345 228 indique que l'usinage est effectué avec grande précision en commandant des corrections d'usure de l'électrode. La fig. 14 montre le principe d'un tel type d'usinage.

Comme on le voit à la fig. 14, en envoyant une électrode cylindrique en rotation 100 de biais selon un angle α par rapport à la surface, pour usiner une pièce 50, un état stable de la pièce peut être réalisé à la position d et (en une position e) lorsqu'une forme de contour et une profondeur d'usinage de l'électrode 100 ne varient plus, en passant par un état transitoire à partir de la position a jusqu'à la position d où la forme de contour et la profondeur d'usinage de l'électrode 100 varient.

Si la pièce est usinée avec des conditions d'usinage provoquant une usure substantielle de l'électrode à ce moment, l'état transitoire, depuis la position a jusqu'à la position d, peut être presque ignoré. Pour cette raison, en envoyant l'électrode 100 de biais avec un angle d'inclinaison approprié α , il est possible de retirer une couche avec une profondeur d'usinage spécifiée.

Dans la technologie décrite dans HEI-5-345 228, un simulateur pour calculer une valeur de correction d'usure de l'électrode 100 selon sa direction longitudinale est prévu, un angle d'inclinaison α de l'électrode 100 par rapport à la surface de l'usinage est calculé en introduisant les valeurs: épaisseur E d'une couche à retirer, rayon R de l'électrode et taux d'usure U du volume; l'usure de l'électrode 100 selon la direction longitudinale étant compensée par un mouvement incliné pour retirer la couche à l'intérieur d'une profondeur d'usinage spécifiée.

Dans cet usinage par électro-érosion, l'usure de l'électrode 100 selon la direction longitudinale peut être compensée en exécutant une avance selon la direction inclinée de telle manière que la surface usée de l'électrode, pouvant travailler à haute vitesse d'usinage, est utilisée, augmentant ainsi l'efficacité d'usinage.

Pour fournir des commandes de correction contre l'usure comme décrit ci-dessus, théoriquement en donnant des données pour un jeu de profondeurs d'usinage par couche, un rayon de l'électrode, une section de l'électrode et un facteur d'usure volumique afin de simuler un taux d'usure de l'électrode, un angle d'avance oblique de l'électrode peut être déterminé analytiquement avant le départ de l'usinage. Cependant dans l'usinage actuel, différents types de conditions comme la température d'un liquide d'usinage et une quantité de copeaux d'usinage dans un espace entre l'électrode et la pièce à usiner ou autres peuvent changer, et pour cette raison l'épaisseur requise de la couche ne peut toujours être retirée, de telle manière qu'un taux d'usure actuel peut être différent de celui simulé.

Dans le cas où une forme ayant une face latérale inclinée est usinée, en utilisant seulement un type de tracé avec une forme en deux dimensions, il est possible de réduire substantiellement les étapes de calcul dans un programme CN en usinant une pièce dans une forme en couches en décalant graduellement le contour de tracé extérieur. Cependant, dans le cas où seulement le décalage est changé, comme on le voit aux fig. 15A et 15B, un espace T entre le contour de tracé extérieur Po et un contour de tracé intérieur Pi se rétrécit graduellement, et bien qu'un tracé pour l'électrode soit préparé de telle manière que l'électrode 100 lui soit toujours partiellement superposée, lorsque la superposition 0 est modifiée, comme on le voit aux fig. 16A et 16B, selon l'espace le plus étroit T, un taux d'extraction d'usinage pour une électrode constante change avec la modification de l'espace, ce qui en fait modifie la profondeur d'usinage D d'une couche.

Comme décrit ci-dessus, dans le cas où un taux d'usure d'une électrode est simulé, il est nécessaire de calculer un taux d'usinage selon le changement de tracé ainsi que de changer le taux à corriger tenant compte de l'usure. Cependant, il est extrêmement difficile de corriger le taux d'usure avec grande précision selon un tracé d'usinage recouvrant des tracés d'électrode adjacents, de telle manière qu'il est très difficile d'usiner une pièce selon seulement un résultat d'un calcul de simulation à cause d'une différence entre le résultat du calcul et l'usinage en cours.

Un but de la présente invention est de proposer un appareil d'usinage par électro-érosion pouvant exécuter un usinage de haute précision sur une forme ayant une face latérale inclinée en fournissant des commandes de haute précision à une position de l'électrode selon des paramètres d'usinage et une durée d'usinage nécessaire pour l'usinage de haute précision après la deuxième pièce d'usinage et qui puisse être réduite lorsque d'autres pièces d'usinage, ayant chacune la même forme, sont en-

suite usinées, et de proposer un procédé d'usinage par électro-érosion répondant aux mêmes conditions.

Dans l'appareil d'usinage par électro-érosion selon la présente invention, deux contours en deux dimensions indiquant chacun un tracé d'usinage, des dimensions d'une forme d'usinage, un taux d'avance selon la direction axiale de l'électrode selon une direction horizontale, et une fréquence de mesures en ligne sont stockés dans les moyens de stockage de conditions initiales d'usinage, et, à l'étape initiale d'usinage, l'usinage par électro-érosion est effectué selon les conditions initiales d'usinage stockées dans lesdits moyens. Les moyens de mesure en ligne mesurent une profondeur d'usinage selon une fréquence de mesure du procédé d'usinage, et selon la valeur de profondeur d'usinage mesurée comme décrite plus haut, les moyens de calcul de paramètres d'usinage calculent de nouveaux paramètres d'usinage tels qu'une profondeur d'usinage pour un contour de tracé d'usinage, nombre d'usinage encore à effectuer, valeurs d'incrément de décalage, et, après que les nouveaux paramètres d'usinage aient été calculés, pour une première pièce, des moyens de commande de position d'électrode fournissent une commande de positionnement à l'électrode selon les nouveaux paramètres d'usinage.

Dans l'appareil d'usinage par électro-érosion selon la présente invention, les paramètres d'usinage calculés par les moyens de calcul de paramètres d'usinage sont stockés dans des moyens de stockage de nouveaux paramètres d'usinage, et dans le cas où une pluralité de pièces ayant chacune la même forme sont à usiner, les moyens de commande de position d'électrode fournissent des commandes de positionnement à une électrode en utilisant les paramètres d'usinage stockés dans les moyens de stockage de nouveaux paramètres d'usinage pour l'usinage de la deuxième pièce et des suivantes.

Dans l'appareil d'usinage par électro-érosion selon la présente invention, les moyens de calcul des paramètres d'usinage calculent une profondeur d'usinage estimée pour un prochain tracé extérieur dépendant d'une valeur calculée précédente, une valeur calculée courante et les nombres d'usinage dans un cas où la profondeur d'usinage pour un contour de tracé change à chaque période de mesure.

Dans l'appareil d'usinage par électro-érosion selon la présente invention, dans l'étape d'enregistrement de conditions initiales d'usinage, deux contours en deux dimensions indiquant chacun un contour de tracé, les dimensions de la forme d'usinage, un taux d'avance dans la direction axiale de l'électrode selon la direction horizontale, et une fréquence de mesures en ligne sont stockées et lors de l'usinage initial, l'usinage est effectué selon les conditions d'usinage initiales stockées à l'étape d'enregistrement de conditions d'usinage initiales. Lors de l'étape de mesure en ligne, une profondeur d'usinage est mesurée selon une fréquence de mesure dans le procédé d'usinage, et ensuite à l'étape de calcul des paramètres d'usinage, des paramètres d'usinage tels qu'une profondeur d'usinage pour un

contour de tracé, les nombres d'usinages encore à réaliser, des valeurs d'incréments pour le contour de tracé sont calculés à nouveau selon une valeur mesurée de la profondeur d'usinage, et après que les nouveaux paramètres d'usinage aient été calculés pour une première pièce, à l'étape de commande de positionnement de l'électrode, des commandes de positionnement de l'électrode sont fournies selon les nouveaux paramètres calculés.

Dans l'appareil d'usinage par électro-érosion selon la présente invention, les paramètres d'usinage calculés à l'étape de calcul des paramètres d'usinage sont stockés dans des moyens de stockage lors d'une étape de stockage de nouveaux paramètres d'usinage, et des commandes de positionnement de l'électrode sont fournies utilisant les paramètres d'usinage stockés dans les moyens de stockage lors de l'étape de stockage des nouveaux paramètres d'usinage pour une deuxième pièce et les suivantes dans le cas où une pluralité de pièces ayant chacune la même forme sont à usiner.

Dans l'appareil d'usinage par électro-érosion selon la présente invention, dans le cas où une profondeur d'usinage d'un contour de tracé change lors de chaque mesure, une profondeur d'usinage estimée pour un prochain contour de tracé est convertie et calculée selon une valeur calculée précédente, une valeur calculée courante et le nombre d'usinages dans une étape de calcul de paramètres d'usinage.

D'autres buts et avantages de l'invention apparaissent dans la description qui suit, qui est à considérer en regard du dessin annexé comportant les figures où:

la fig. 1 est une vue schématique montrant la configuration générale d'un appareil d'usinage par électro-érosion selon une première forme d'exécution de l'invention,

la fig. 2 est un schéma-bloc montrant la configuration générale d'un dispositif CN dans l'appareil d'usinage par électro-érosion selon l'invention,

la fig. 3 est une vue explicative montrant le déplacement de l'électrode selon la direction axiale Z pour un mouvement de l'électrode dans les directions X et Y,

la fig. 4 est un diagramme de flux montrant un procédé d'usinage selon la présente invention,

la fig. 5 montre différents changements de forme d'usinage dans le procédé d'usinage selon la présente invention,

la fig. 6 est un diagramme en flux montrant un procédé d'usinage dans le cas où un usinage d'une deuxième pièce et suivantes est exécuté selon le procédé d'usinage selon la présente invention,

la fig. 7A est une vue en perspective montrant un exemple de forme usinée par le procédé d'usinage selon la présente invention,

la fig. 7B est une vue en perspective montrant un contour en deux dimensions pour un mouvement d'électrode selon le procédé d'usinage selon la présente invention,

Les fig. 8A à 8C sont des vues en plan montrant un changement du contour de tracé dans l'usinage incliné,

les fig. 9a et 9B sont des graphiques montrant «une profondeur d'usinage/couche» calculée après mesure de la profondeur d'usinage,

les fig. 10A et 10B sont des vues explicatives montrant un changement de la forme d'usinage incliné selon la période de mesure,

la fig. 11 est un graphique montrant un exemple de conversion d'un paramètre de profondeur d'usinage par couche,

la fig. 12 est une vue en perspective montrant un exemple concret d'usinage d'une forme comprenant une section usinée verticale et une section inclinée,

la fig. 13 est une vue en perspective montrant un exemple d'une forme d'exécution dans le cas où une pluralité de pièces ayant chacune la même forme sont à usiner,

les fig. 14A à 14E sont des vues explicatives montrant l'usinage avec une électrode simple en utilisant une commande de correction d'usure de l'électrode,

les fig. 15A et 15B sont des vues en plan montrant une modification du décalage de contour, et

les fig. 16A et 16B sont des vues explicatives montrant un changement des caractéristiques d'usinage selon un changement du décalage de contour.

Une description détaillée est faite ci-dessous de différents modes d'exécution d'appareils et de procédés d'usinage par électro-érosion selon la présente invention.

La fig. 1 montre une première forme d'exécution d'un appareil d'usinage par électro-érosion selon l'invention. L'appareil d'usinage comprend une électrode 1 cylindrique creuse, un dispositif de mise en rotation 2 de l'électrode 1 autour de l'axe central, un bain d'usinage 5 disposé sur une table de travail 3 rempli d'un liquide d'usinage 4 dans lequel une pièce à usiner W est immergée pour l'usinage, des moyens d'actionnement 6, 7, 8 pour déplacer l'électrode 1 et la pièce W relativement entre eux selon les directions axiales X, Y et Z, une unité CN 9 pour fournir une instruction de déplacement de l'électrode 1 selon des données de forme d'usinage ainsi que d'autres paramètres d'usinage, une source d'alimentation d'usinage 10 pour fournir une tension entre l'électrode 1 et la pièce W, des moyens de détection de contact 11 pour détecter électriquement un contact entre l'électrode 1 et la pièce W et un dispositif d'alimentation en liquide d'usinage 12 pour faire circuler le liquide d'usinage 4.

La fig. 2 montre la configuration de l'unité CN 9. L'unité CN 9 comprend des moyens de mesure en ligne 21 des moyens de calcul de paramètres d'usinage 22, des moyens de commande de position d'électrode 23 et des moyens de stockage de données 24. Les moyens de stockage de données 24 comprennent une section de paramètres d'usinage initiaux 24a et une section de nouveaux paramètres d'usinage 24b.

La section de paramètres d'usinage initiaux 24a stocke des données principalement telles qu'un tracé d'une forme d'usinage en deux dimensions, une profondeur d'usinage, un taux de correction selon l'axe Z, la fréquence des mesures en ligne, le nom-

bre d'usinages initiaux, et stocke aussi, dans le cas où la forme possède une face latérale inclinée, des données de paramètres d'usinage initiaux telles qu'un taux de décalage maximum ou semblable. On doit noter que le taux de correction selon l'axe Z montre, comme on le voit à la fig. 3, des taux de déplacement dans la direction axiale Z (dans la direction axiale de l'électrode) pour un mouvement de l'électrode selon les directions axiales X et Y (mouvement horizontal).

La section de nouveaux paramètres d'usinage 24b stocke des données telles qu'une profondeur d'usinage pour un contour de tracé, des valeurs d'incrément de décalage pour un contour de tracé et un résultat des nombres d'usinages dans chacune des zones de mesure, chacun obtenu durant l'usinage en utilisant les moyens de calcul de paramètres d'usinage 22 décrits plus bas.

Les moyens de mesure en ligne 21 reçoivent un signal de détection de contact des moyens de détection de contact 11 à chaque fois que le contour de tracé est effectué aux temps spécifiés dépendant du nombre d'usinages initiaux ainsi que du nombre de mesures en ligne, et mesurent une profondeur d'usinage selon le contact de l'extrémité de l'électrode avec la pièce W durant l'usinage, soit le long de la ligne interne, pour transférer les données mesurées aux moyens de calcul de paramètres d'usinage 22.

Les moyens de calcul de paramètres d'usinage 22 calculent des paramètres d'usinage telles qu'une profondeur d'usinage pour un contour de tracé externe (tracé d'usinage externe), des nombres d'usinages à effectuer ultérieurement, des valeurs d'incrément pour le contour de tracé selon un résultat de mesure d'une profondeur d'usinage par les moyens de mesure en ligne 21, et transfèrent ces nouveaux paramètres d'usinage à la section de nouveaux paramètres d'usinage 24b.

Les moyens de commande de positionnement de l'électrode 23 fournissent une commande de mouvement selon les directions axiales X et Y selon lesquelles l'électrode 1 est déplacée sur le contour de tracé selon une forme d'usinage en deux dimensions, une profondeur d'usinage, d'autres paramètres d'usinage chacun donné par la section de paramètres d'usinage initiaux 24a et la section de nouveaux paramètres d'usinage 24b, et fournit aussi une commande de déplacement à l'électrode 1 selon un taux spécifié selon une valeur déterminée du taux de correction selon l'axe Z.

Dans cet appareil d'usinage par électro-érosion, l'usinage est effectué selon les paramètres déterminés par la section de paramètres d'usinage initiaux 24a, et à ce moment, une mesure de profondeur utilisant le positionnement du contact entre l'extrémité de l'électrode et la pièce est effectuée durant l'usinage par les moyens de mesure en ligne 21 selon le nombre d'usinages initiaux et le nombre spécifié de mesures. Les différents paramètres d'usinage sont calculés par les moyens de calcul des paramètres d'usinage 22 dépendant des données de cette mesure de profondeur, faisant que les paramètres d'usinage sont adaptés pour exécuter un usinage de haute précision. Ainsi, lorsqu'une

pluralité de pièces ayant chacune la même forme sont usinées, la deuxième pièce et les suivantes peuvent être usinées sans mesure de leur profondeur à chaque fois et en utilisant les nouveaux paramètres d'usinage obtenus lors de l'usinage de la première pièce.

On peut décrire ensuite le procédé d'usinage d'une forme initiale (usinage de la première pièce) selon les paramètres d'usinage initiaux en se référant aux fig. 4 et 5.

Premièrement, une profondeur d'usinage déterminée a et au moins un taux de décalage maximum ht sont cherchés (étape S10), la profondeur d'usinage s avant le début d'usinage représentée à la fig. 5.1 est mesurée par les moyens de mesure en ligne 21 (étape S20) et un usinage initial est exécuté durant le temps d'usinage initial Pf (étape S30).

Lorsque le premier usinage est effectué, durant la première période d'usinage Pf , la valeur mesurée de la profondeur $z1$ lorsque le premier usinage est terminé est obtenue comme on le voit à la fig. 5.2, en mesurant la profondeur par les moyens de mesure en ligne 21 (étape S40).

Ensuite, les moyens de calcul de paramètres d'usinage 22 calculent une profondeur d'usinage $zt1$ pour un contour de tracé, l'incrément $H1$ pour un décalage pour un contour de tracé et le nombre $P1$ d'usinages à exécuter ensuite, selon les expressions suivantes (étape S50):

$$zt1 = (z1 - s) / Pf$$

$$H1 = ht * z1 / (a - s)$$

$$P1 = (a - z1) / zt1$$

Ensuite l'usinage est repris, mais à cette étape, l'usinage n'est pas exécuté pour le nombre calculé restant $P1$ tout d'un coup, et les paramètres d'usinage sont à nouveau calculés en mesurant la profondeur chaque fois que l'usinage est effectué par le nombre divisé dépendant d'une fréquence de mesure de correction de conditions d'usinage.

De cette manière, lorsque l'usinage initial est terminé, l'usinage à exécuter ultérieurement ($P1 / N1$) est effectué avec l'incrément $H1$ pour le décalage (étape S60), les moyens de mesure en ligne 21 mesurent une profondeur d'usinage $z2$ après que l'usinage ait été effectué aux temps ($P1 / N1$) comme on le voit à la fig. 5.3 (étape S70, et les moyens de calcul de paramètres d'usinage 22 calculent à nouveau une profondeur d'usinage zt pour un contour de tracé, l'incrément $H2$ pour un décalage pour un contour de tracé et le nombre $P2$ d'usinages à effectuer ensuite selon les expressions suivantes:

$$zt2 = (z2 - z1) / (P1 / N1)$$

$$H2 = ht * z2 / (a - s)$$

$$P2 = (a - z2) / zt2$$

Ensuite l'usinage à exécuter ultérieurement ($P2 / N2$) est effectué avec l'incrément $H2$ pour le contour de tracé (étape S90), et par la suite les

moyens de mesure en ligne 21 mesurent une profondeur d'usinage zn lors de chaque usinage (Pn / Nn) comme on le voit à la fig. 5.4 (étape S100), ensuite les moyens de calcul de paramètres d'usinage 22 calculent une profondeur d'usinage ztn pour un contour de tracé, l'incrément Hn pour un décalage pour un contour de tracé, et le nombre Pn d'usinages à effectuer ultérieurement selon les expressions ci-dessous (étape S110), et ces valeurs sont réadaptées de manière répétitive jusqu'à ce que les nombres déterminés de mesure soient écoulés (étape S120 affirmative).

$$ztn = (zn - zn - 1) / (Pn / Nn)$$

$$Hn = ht * zn / (a - s)$$

$$Pn = (a - zn) / ztn$$

Lorsque le nombre déterminé de mesures a été effectué (étape S120 affirmative), tous les usinages à effectuer ultérieurement sont exécutés pour terminer l'usinage de la profondeur a (étape S130).

La fig. 6 montre des procédés d'usinage après une deuxième pièce dans le cas où une pluralité de pièces ayant toutes la même forme sont usinées. Les paramètres d'usinage tels que les incréments $h0$ à hn pour le contour de tracé, le nombre d'usinages à effectuer $P0$ à Pn , une profondeur d'usinage ztn pour un tracé de contour ou autres sont enregistrés dans la section des nouveaux paramètres d'usinage 24b lorsque l'usinage de la deuxième pièce et des suivantes est à exécuter, puisque les paramètres d'usinage ont été obtenus à partir du premier usinage déjà exécuté.

Ainsi, lorsque l'usinage de la deuxième pièce et des suivantes est exécuté, les paramètres d'usinage enregistrés dans la section de nouveaux paramètres d'usinage 24b, sont lus jusqu'à ce que l'usinage immédiatement précédent soit terminé (étape S200), et le même usinage que celui de la première pièce est exécuté selon les paramètres d'usinage (étape S210).

Dans le cas où un usinage de haute précision est requis (étape S220 affirmative), une profondeur par un seul tracé est exécutée (étape S230), ensuite les moyens de calcul de paramètres d'usinage 22 calculent un incrément Hn pour le décalage pour un contour de tracé et le nombre PL d'usinages à effectuer ultérieurement selon la valeur de profondeur mesurée zn (étape S240), et l'usinage est effectué par le nombre PL d'usinages avec l'incrément Hn de décalage (étape S250), ensuite l'usinage est terminé (étape S260).

Pour ceci, les expressions suivantes sont utilisées:

$$Hn = ht * zn / (a - s)$$

$$PL = (a - zn) / ztn$$

Par cette opération, la précision de la dernière profondeur peut être maintenue à un niveau élevé.

On doit noter que dans le cas où une mesure de profondeur pour un seul procédé dans les derniers

procédés n'est pas exécutée (étape S220 négative), l'usinage est exécuté P_n fois avec l'incrément h pour le décalage enregistré dans le section de nouveaux paramètres d'usinage 24b (étape (S270), et ensuite l'usinage est terminé (étape S260).

Ensuite on décrit un exemple d'application d'une électrode tubulaire simple pour l'usinage. Une forme désirée d'usinage possède une face latérale inclinée selon un angle θ comme on le voit à la fig. 7A.

Le contour de tracé d'usinage initial en deux dimensions pour le déplacement de l'électrode est représenté à la fig. 7B. Ce contour de tracé est exécuté le long d'un tracé en deux dimensions selon les directions horizontales, et un usinage avec une profondeur spécifiée peut être exécuté par couches en plusieurs passages.

Dans le cas où une face latérale est verticale, un contour de tracé initial est exécuté de manière répétitive jusqu'à la profondeur spécifiée, mais dans le cas où la face latérale est inclinée, comme on le voit aux fig. 8A à 8C, une forme inclinée quelconque peut être obtenue en modifiant le décalage du contour de tracé d'un incrément désiré. Dans un cas où seulement l'une des quatre faces latérales est inclinée, comme on le voit à la fig. 7A, une forme inclinée peut être obtenue en décalant partiellement le contour de tracé.

L'incrément de décalage à changer pour un contour de tracé peut être obtenu selon la profondeur d'usinage d'une couche calculée à partir de la profondeur d'usinage comme décrite plus haut. Pour cette raison, de manière à effectuer l'usinage d'une forme inclinée avec grande précision, il est nécessaire d'obtenir une valeur précise de «profondeur d'usinage par couche».

Les fig. 9A et 9B sont des graphiques montrant comment la valeur de «profondeur d'usinage par couche» calculée après que la profondeur ait été mesurée, change selon la forme latérale. Dans un cas où la face latérale est verticale, comme on le voit à la fig. 9A, le même contour de tracé est répété de telle manière que l'on puisse considérer que la valeur de «profondeur d'usinage par couche» est substantiellement constante. Cependant, dans un cas où la face latérale est inclinée, ou a une face en forme de R, comme on le voit à la fig. 9B, la valeur de «profondeur d'usinage par couche» calculée lors de chaque mesure, change selon le nombre de passages réalisés.

Ce phénomène se produit parce qu'un espace entre les contours de tracés n'est pas maintenu constant puisque le tracé intérieur est fixé lorsque le contour de tracé est décalé. Pour cette raison, un degré d'extraction d'usinage sur une surface de l'électrode change selon un changement du décalage, avec pour résultat une valeur de «profondeur d'usinage par couche» qui change lors de chaque mesure. L'incrément de décalage est aussi calculé à partir de la valeur de «profondeur d'usinage par couche» de telle manière que, si une mesure n'est pas exécutée aussi souvent, une forme latérale comme celle représentée à la fig. 10A selon un taux de changement de la valeur de «profondeur d'usinage par couche». Ainsi, la forme usinée devient distordue à cause de l'incrément de dé-

calage qui doit être corrigé lors de chaque mesure puisque les mesures ne sont pas suffisantes pour obtenir un incrément de décalage précis pour corriger le décalage.

Une méthode pour résoudre ce problème, représentée à la fig. 10B, consiste à augmenter le nombre de mesures. En augmentant la fréquence des mesures, il est possible d'obtenir une forme latérale extrêmement lisse. On doit noter que dans le cas où le nombre de mesures est augmenté pour améliorer la précision, la durée totale nécessaire pour l'usinage augmente aussi à cause de l'augmentation du nombre de mesures.

Comme on le voit à la fig. 10B, la face latérale inclinée a une forme comme indiquée par la ligne brisée lors de chaque mesure, puisque la profondeur d'usinage pour un tracé d'usinage change, comme on le voit à la fig. 9B, même si le nombre de mesures augmente. Pour cette raison, les moyens de calcul de paramètres d'usinage 22 comparent la profondeur d'usinage d_1 pour un passage d'usinage (une couche) mesurée précédemment à la profondeur d'usinage d_2 au cours du passage mesurée comme on le voit à la fig. 11, et calculent une profondeur d'usinage d_3 pour un passage (une couche) lors de la prochaine mesure comme suit:

$$d_3 = C (d_2 - d_1) / (B - A)$$

Pour l'usinage présent, il est possible d'usiner avec une très faible erreur dans la forme en utilisant la valeur d_2 mesurée précédemment comme une valeur moyenne lors de la prochaine mesure, soit la valeur moyenne obtenue en calculant dx décrite ci-dessous pour le calcul de l'usinage à effectuer ultérieurement ainsi que l'incrément de décalage.

L'expression suivante est applicable:

$$dx = (d_2 - d_1) (B + C) / (B - A)$$

Comme décrit précédemment, dans le cas où le dernier appareil d'usinage par électro-érosion est utilisé, comme on le voit aux fig. 10A et 10B, lorsque la face latérale à usiner n'est pas verticale, il est nécessaire de diviser une série de mesures en un grand nombre de portions. Cependant, comme on le voit sur la figure, avec la première forme d'usinage, des données de nombres d'usinages ainsi que d'incrément de décalage dans chacun des procédés sont stockées comme nouvelles données. Et pour cette raison, lors de l'usinage d'une deuxième pièce ou des suivantes, la durée totale nécessaire pour l'usinage peut être estimée en faisant la somme des durées réelles de chaque usinage.

La fig. 12 montre une forme concrète d'usinage comprenant une section usinée verticalement et une section usinée coniquement. Dans le cas où la forme de la fig. 12 est usinée avec une électrode simple, le nombre de mesure est réduit et le nombre d'usinages dans chacune des zones de mesure est augmenté dans la section d'usinage verticale W/b , alors que le nombre de mesures est augmenté et le nombre d'usinages b dans chacune des zones de mesure est réduit dans la section usinée con-

quement W_t , de telle manière que l'amélioration de précision de forme et la réduction du nombre d'usinages peuvent être obtenues selon les conditions fixées a > b.

Comme on le voit aussi à la fig. 13, dans le cas où une pluralité de pièces ayant chacune la même forme que celle de la fig. 12 sont à usiner, en utilisant les paramètres d'usinage calculés en usinant la première pièce pour usiner la deuxième pièce et les suivantes, la durée totale nécessaire pour l'usinage de la deuxième pièce et des suivantes est substantiellement équivalente à celle nécessaire pour l'usinage, et pour cette raison, le nombre de mesure peut être réduit.

Comme on le comprend des explications ci-dessus, par l'appareil d'usinage par électro-érosion selon l'invention, l'usinage est effectué selon les paramètres initiaux d'usinage stockés dans les moyens de stockage de paramètres initiaux d'usinage lors de l'étape initiale d'usinage, puis lorsque les moyens de mesure en ligne mesurent une profondeur d'usinage, des moyens de calcul de paramètres d'usinage calculent de nouveaux paramètres d'usinage, tels qu'une profondeur pour un contour de tracé, le nombre d'usinages à effectuer ultérieurement, l'incrément pour le décalage de contour selon la valeur mesurée de la profondeur d'usinage, et après que les paramètres aient été à nouveau calculés pour une première pièce, la commande de positionnement de l'électrode est activée selon les nouveaux paramètres d'usinage, faisant que sans tenir compte d'une modification du taux d'usure de l'électrode, ou de la profondeur d'usinage pour un contour de tracé d'usinage, la commande de positionnement de l'électrode peut être activée avec grande précision et ainsi un usinage d'une forme peut être exécuté avec grande précision, même pour un usinage incliné tel que celui d'une rainure avec une section approximativement en V.

Avec un appareil d'usinage par électro-érosion selon une autre forme d'exécution de l'invention, la commande de positionnement de l'électrode est fournie en utilisant les paramètres d'usinage stockés dans les moyens de stockage de nouveaux paramètres d'usinage pour l'usinage d'une deuxième pièce et des suivantes, dans le cas où une pluralité de pièces ayant chacune la même forme sont à usiner, faisant que la durée d'usinage de la deuxième pièce et des suivantes est substantiellement réduite alors que la précision d'usinage est maintenue à un niveau élevé.

Avec un appareil d'usinage par électro-érosion selon une autre forme d'exécution de l'invention, dans le cas où la profondeur d'usinage pour un contour de tracé d'usinage est modifiée à chaque mesure, une profondeur estimée d'usinage pour un prochain contour de tracé est calculée selon la valeur de la profondeur d'usinage calculée précédant la valeur calculée courante et le nombre d'usinages, de telle manière qu'il est possible d'exécuter un usinage tri-dimensionnel avec grande précision.

Dans un procédé d'usinage par électro-érosion selon une autre forme d'exécution de l'invention, lors d'un usinage initial, l'usinage est exécuté selon les paramètres d'usinage initiaux stockés lors de

l'étape de stockage de paramètres initiaux, lorsqu'une profondeur d'usinage a été mesurée lors d'une étape de mesure en ligne, des paramètres d'usinage, tels que profondeur d'usinage pour un contour de tracé nombre d'usinages ultérieurs, incrément de décalage de contour sont calculés à nouveau selon la valeur mesurée de la profondeur d'usinage, dans une étape de calcul de paramètres d'usinage, puis après que les nouveaux paramètres d'usinage aient été calculés pour une première pièce, une commande de positionnement de l'électrode est fournie lors d'une étape de commande de positionnement d'électrode, selon les nouveaux paramètres d'usinage, faisant que, sans tenir compte d'un changement du taux d'usure de l'électrode, ou de la profondeur d'usinage pour un contour de tracé d'usinage, une commande de positionnement de l'électrode peut être fournie avec grande précision et l'usinage d'une forme peut être exécuté avec grande précision comme l'usinage d'une rainure de section approximativement en V.

Dans un procédé d'usinage par électro-érosion selon une autre forme d'exécution de l'invention la commande de positionnement de l'électrode est fournie en utilisant des paramètres d'usinage stockés dans des moyens de stockage pour une deuxième pièce et les suivantes, dans le cas où plusieurs pièces ayant chacune la même forme sont à usiner, de telle manière que pour l'usinage de la deuxième pièce et des suivantes, la durée totale d'usinage peut être substantiellement réduite en conservant un grand degré de précision d'usinage.

Dans un procédé d'usinage par électro-érosion selon une autre forme d'exécution de l'invention, dans le cas où une profondeur d'usinage pour un contour de tracé change lors de chaque mesure, une profondeur d'usinage estimée pour un prochain contour de tracé est convertie et calculée selon une valeur calculée précédente, la valeur courante calculée et la durée d'usinage, de telle manière qu'il soit possible d'exécuter un usinage tridimensionnel avec grande précision.

Cette demande est basée sur la demande japonaise HEI 8-290 940 déposée le 31 octobre 1996 et dont le contenu est incorporé ici par référence.

Bien que l'invention ait été décrite par rapport à une forme d'exécution spécifique pour une divulgation claire et complète, les revendications annexées ne sont pas limitées à ceci mais sont à interpréter comme comprenant toutes les modifications et alternatives pouvant apparaître à l'homme du métier qui tombent nettement dans l'enseignement de base décrit ici.

Revendications

1. Appareil d'usinage par électro-érosion appliquant une tension à une électrode (1) et une pièce (W), afin d'usiner ladite pièce selon une forme désirée au moyen d'une commande tridimensionnelle, caractérisé en ce qu'il comprend:

des moyens de stockage de paramètres d'usinage initiaux (24a) pour stocker un contour en deux dimensions indiquant un tracé d'usinage, des dimen-

sions d'une forme à usiner, un taux de déplacement selon la direction axiale (Z) de l'électrode (1) lors d'un mouvement donné de ladite électrode selon des directions horizontales (X, Y) et une fréquence de mesures en ligne,
des moyens de mesure en ligne (21) pour mesurer une profondeur d'usinage selon la fréquence de mesure,

des moyens de calcul de paramètres d'usinage (22) pour calculer des paramètres d'usinage comprenant la profondeur d'usinage pour chaque contour de tracé d'usinage, un nombre de tracés d'usinage restantes, et un incrément de décalage de contour selon le résultat de mesure de la profondeur d'usinage par lesdits moyens de mesure en ligne (21), et
des moyens de commande de positionnement (23) fournissant des commandes de positionnement de l'électrode (1) selon les paramètres d'usinage calculés par lesdits moyens de calcul de paramètres d'usinage (22).

2. Appareil d'usinage par électro-érosion selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de calcul de paramètres d'usinage (22) sont agencés pour comparer une valeur calculée de profondeur d'usinage, obtenue lors d'un tracé d'usinage précédent, à celle du tracé d'usinage en cours dans le cas où la profondeur d'usinage change lors de chaque mesure de profondeur, et pour calculer une profondeur d'usinage estimée pour le prochain tracé d'usinage, selon la valeur calculée précédente, la valeur courante, et le nombre de tracés d'usinage.

3. Appareil d'usinage par électro-érosion selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de stockage de nouveaux paramètres d'usinage (24b) pour stocker des paramètres d'usinage obtenus par lesdits moyens de calcul de paramètres d'usinage (22), lesdits moyens de commande de positionnement (23) de l'électrode (1) fournissant des commandes selon les paramètres d'usinage stockés dans lesdits moyens de stockage de nouveaux paramètres d'usinage (24b) pour l'usinage d'une deuxième pièce et des suivantes dans le cas où une pluralité de pièces ayant chacune la même forme sont à usiner.

4. Appareil d'usinage par électro-érosion selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits moyens de calcul de paramètres d'usinage (22) sont agencés pour comparer une valeur calculée d'une profondeur d'usinage, obtenue lors d'un tracé d'usinage précédent, à celle du tracé d'usinage en cours dans le cas où la profondeur d'usinage change lors de chaque mesure, et pour calculer une profondeur d'usinage estimée pour le prochain tracé d'usinage selon la valeur calculée précédente, la valeur calculée courante, et le nombre de tracés d'usinage.

5. Procédé d'usinage à l'aide d'un appareil d'usinage par électro-érosion selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes:

(a) de stocker les paramètres d'usinage initiaux tels que contour en deux dimensions indiquant le tracé d'usinage, des dimensions de la forme à usiner, le taux de déplacement selon la direction axiale (Z) de

l'électrode (1) lors d'un mouvement de ladite électrode selon des directions horizontales (X, Y) et la fréquence de mesures en ligne, dans les moyens de stockage de paramètres d'usinage initiaux (24a);
(b) d'effectuer une mesure en ligne pour mesurer la profondeur d'usinage selon la fréquence de mesure, par les moyens de mesure en ligne (21);
(c) de calculer les paramètres d'usinage tels que profondeur d'usinage pour un contour de tracé d'usinage, des nombres d'usinage à effectuer ultérieurement, des incréments de décalage de contour selon le résultat de mesure de la profondeur d'usinage lors de ladite étape de mesure en ligne, ce calcul étant effectué par les moyens de calcul de paramètres d'usinage (22); et
(d) de commander le positionnement de l'électrode (1) selon les paramètres d'usinage calculés au cours de l'étape de calcul des paramètres d'usinage, ces commandes étant fournies par les moyens de commande de positionnement (23).

6. Procédé d'usinage par électro-érosion selon la revendication 5, caractérisé en ce que, dans le cas où la profondeur d'usinage change lors de chaque mesure de profondeur exécutée au cours d'une étape d'usinage, une valeur calculée précédente de tracé d'usinage est comparée à celle de tracé d'usinage en cours, et une profondeur d'usinage estimée pour le prochain tracé d'usinage est convertie et calculée selon la valeur calculée précédente, la valeur calculée courante, et le nombre de tracés d'usinage.

7. Procédé d'usinage par électro-érosion selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de stockage de paramètres d'usinage nouvellement obtenus, étape dans laquelle un paramètre d'usinage calculé lors de ladite étape de calcul de paramètres d'usinage est stocké dans des moyens de stockage (24), la commande de positionnement de l'électrode étant fournie en utilisant le paramètre d'usinage stocké dans lesdits moyens de stockage (24) pour une deuxième pièce et les suivantes dans le cas où une pluralité de pièces ayant chacune la même forme sont à usiner.

8. Procédé d'usinage par électro-érosion selon la revendication 7, caractérisé en ce que dans le cas où la profondeur d'usinage pour un tracé d'usinage change lors de chaque mesure de profondeur exécutée au cours d'une étape d'usinage, une valeur calculée précédente de profondeur d'usinage pour un tracé d'usinage est comparée à la valeur calculée de profondeur d'usinage en cours, et une profondeur d'usinage estimée pour le prochain contour de tracé est convertie et calculée selon la valeur calculée précédente, la valeur calculée courante, et le nombre de tracés d'usinage.

FIG.1

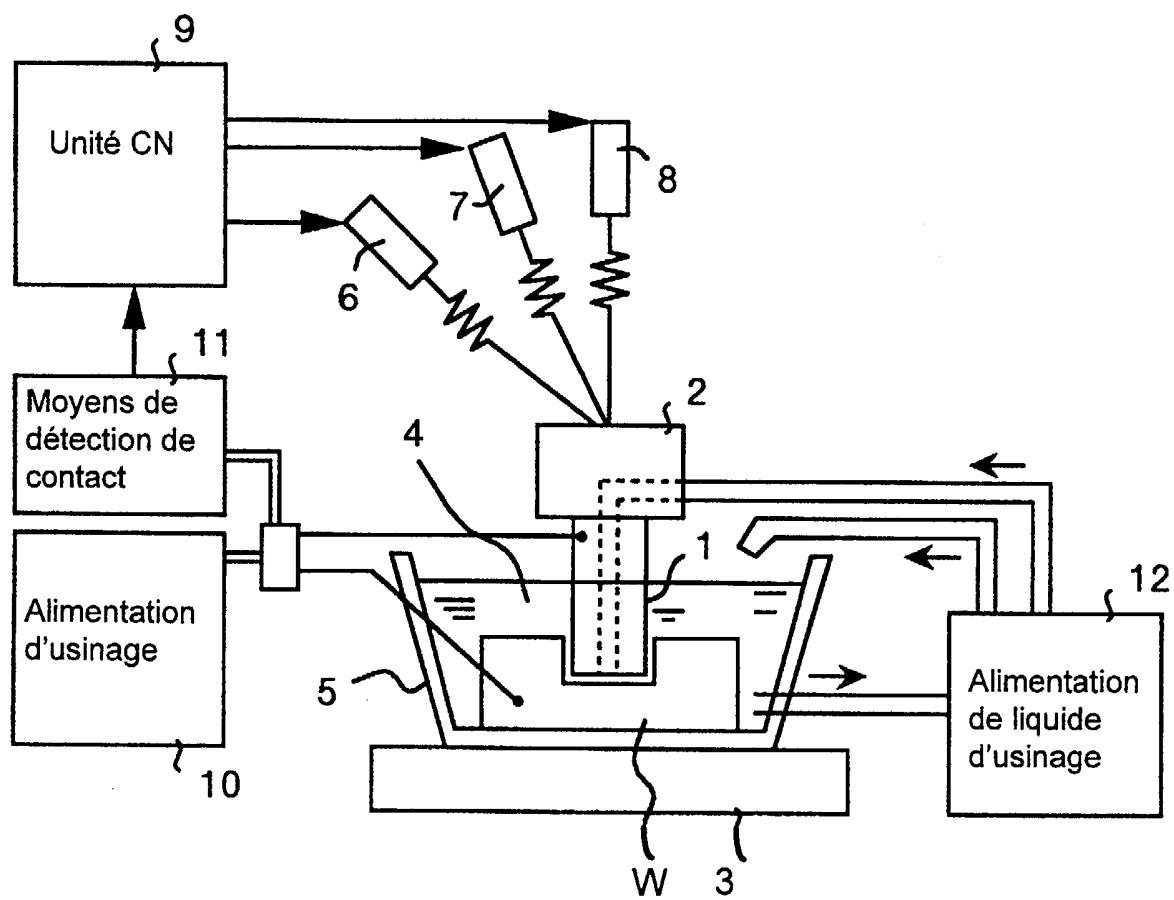


FIG.2

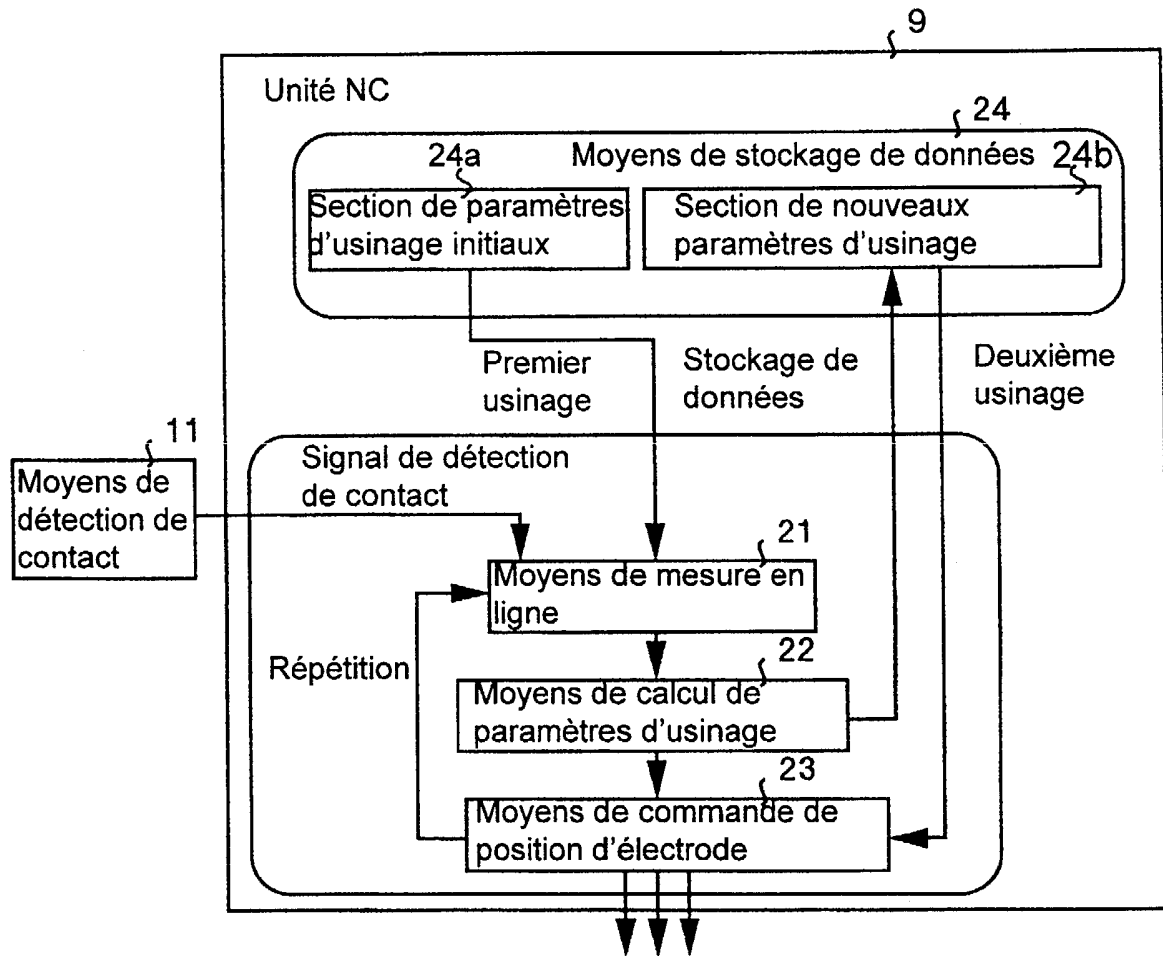


FIG.3

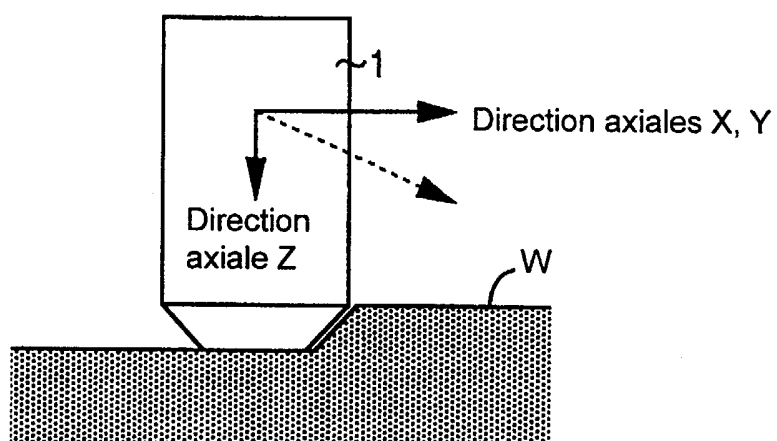


FIG.4

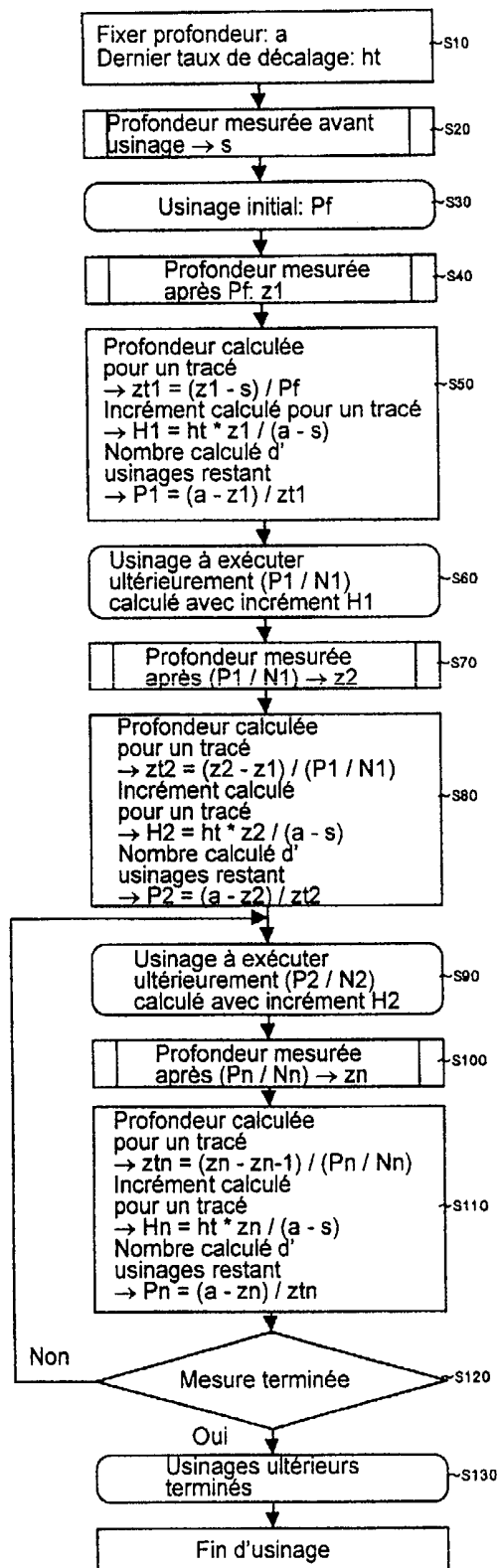


FIG.5

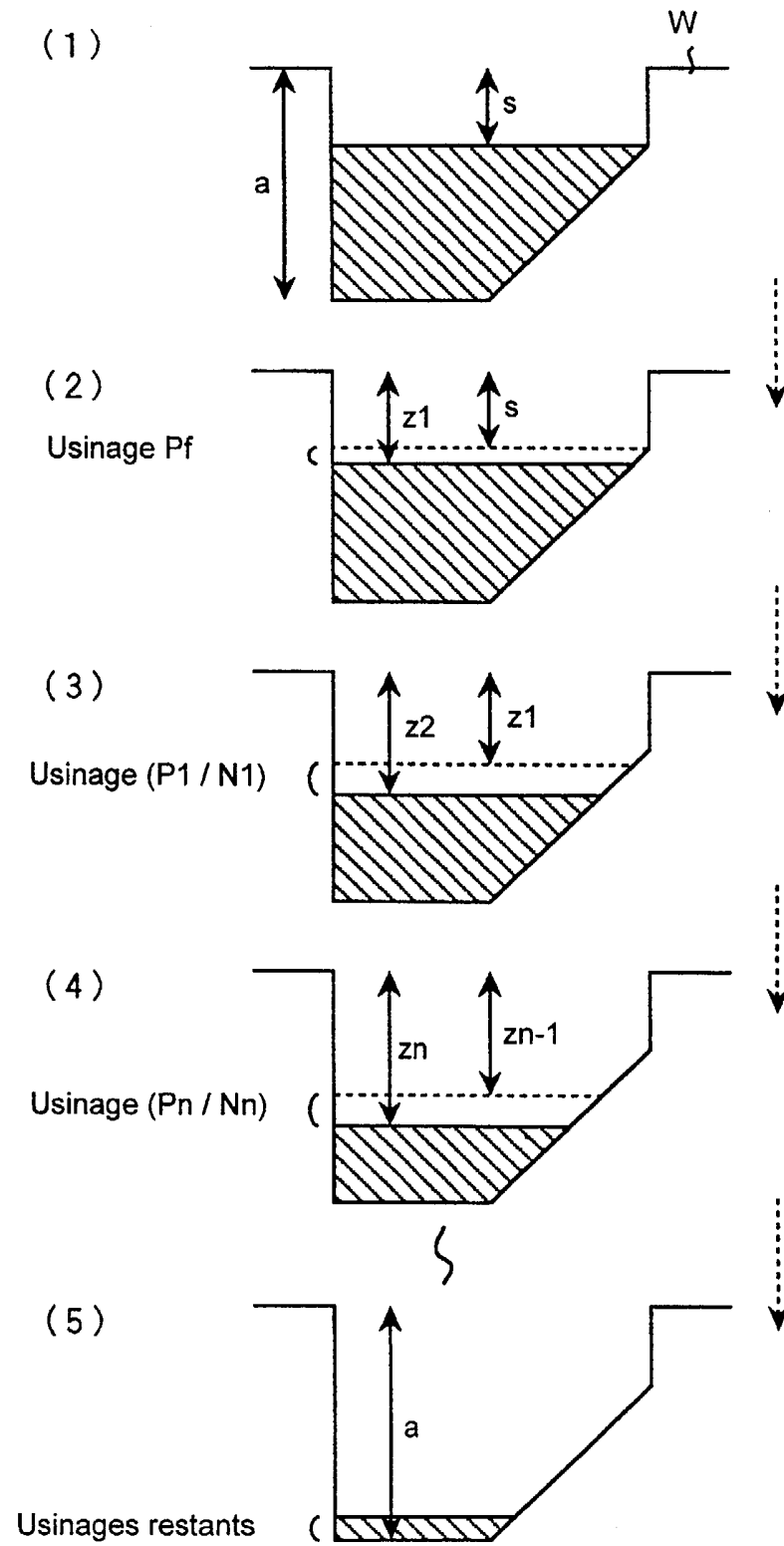


FIG.6

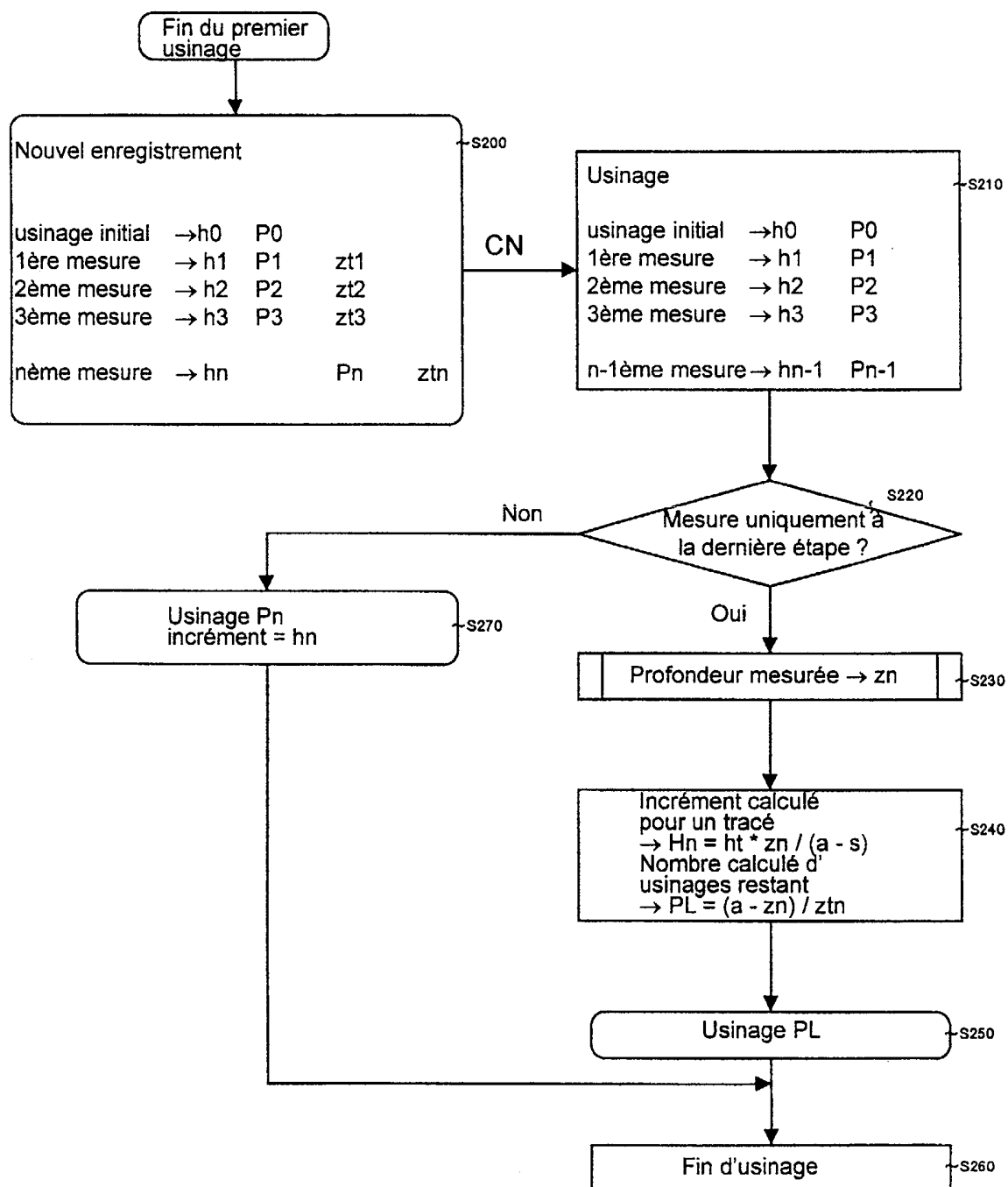


FIG.7A

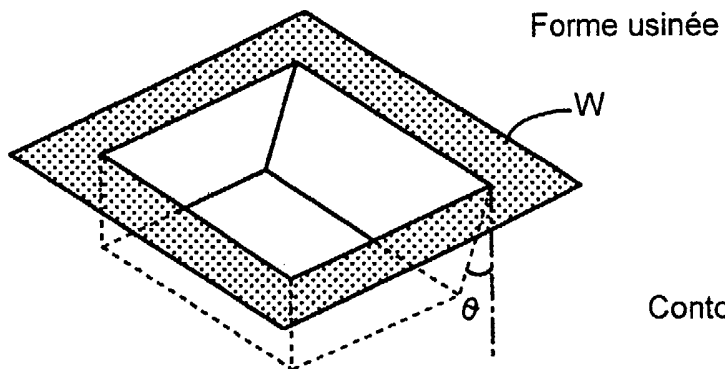


FIG.7B

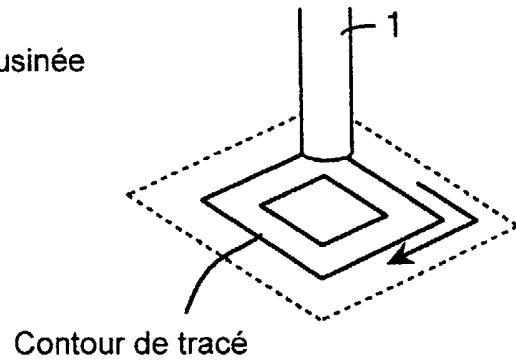


FIG.8A

FIG.8B

FIG.8C

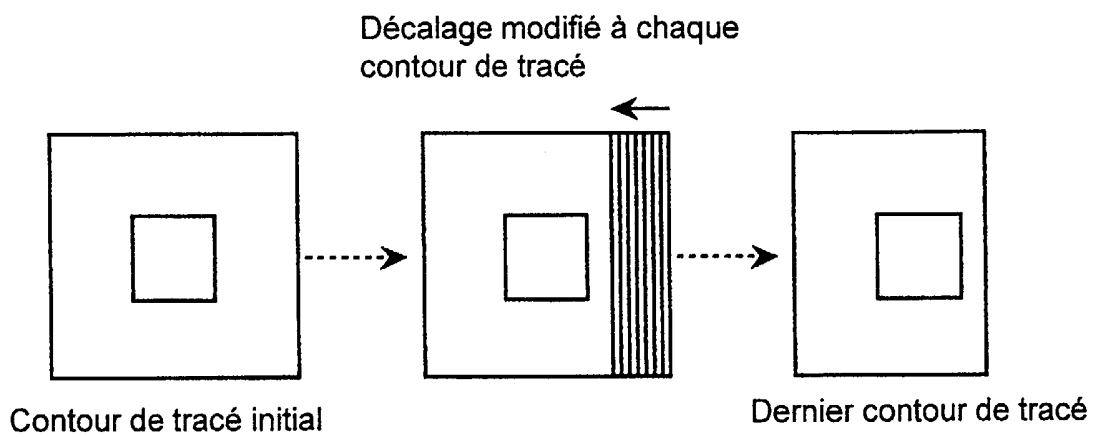


FIG.9A

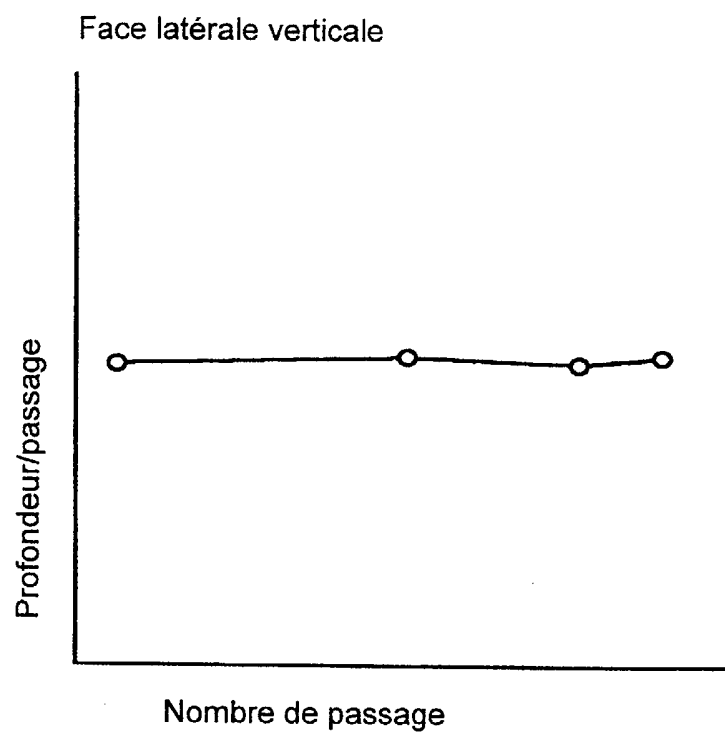


FIG.9B

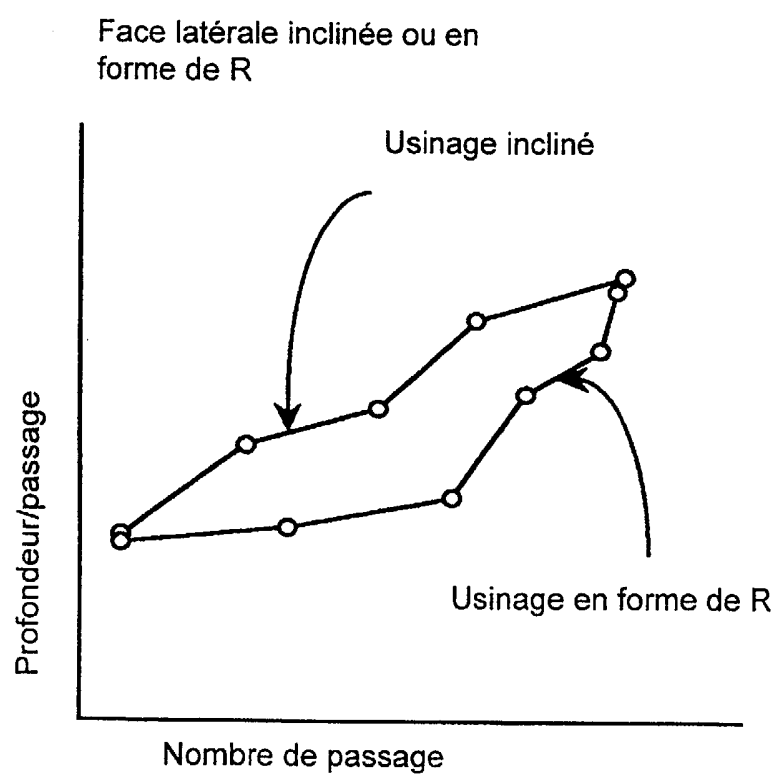


FIG.10A

Nombre de mesures: 3

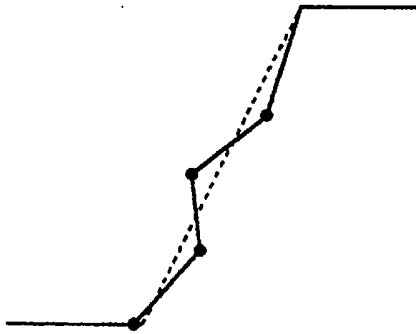


FIG.10B

Nombre de mesures: $A \times 2$

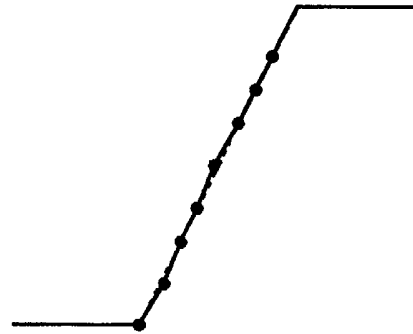


FIG.11

Profondeur par couche utilisée
pour calculer les paramètres
de la prochaine étape

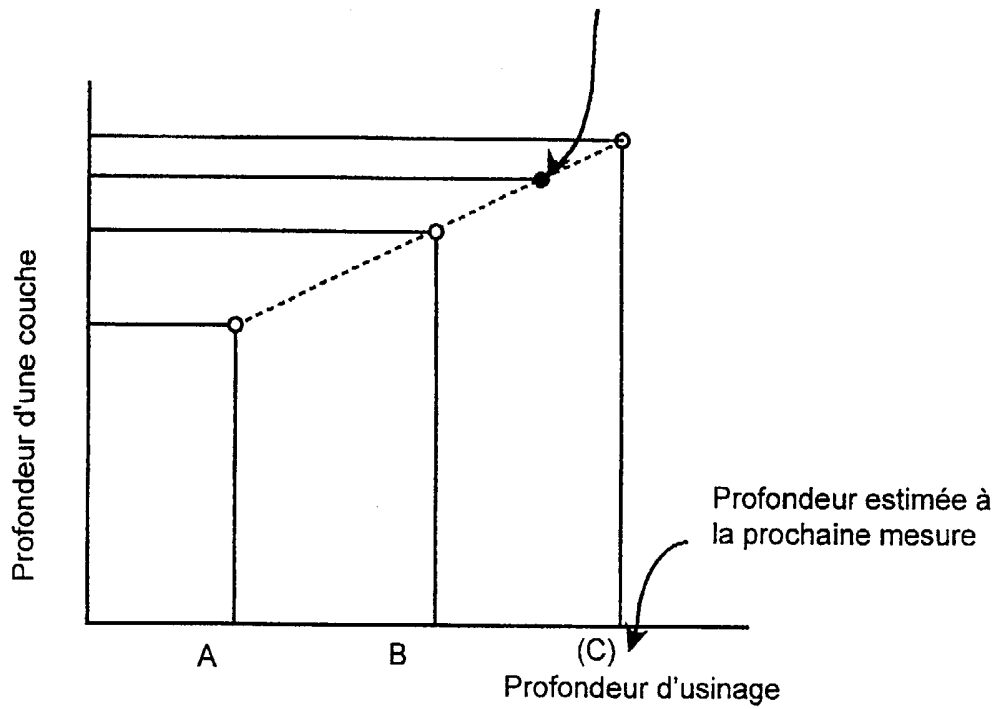


FIG.12

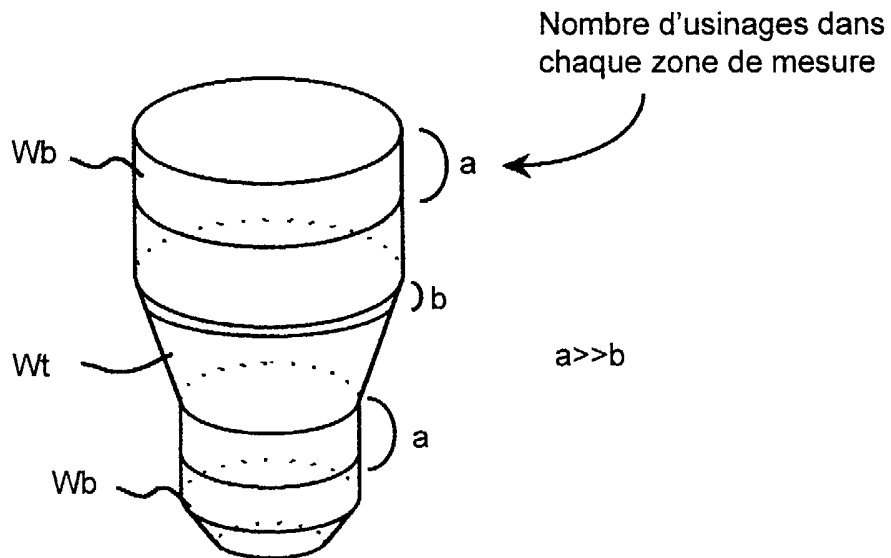
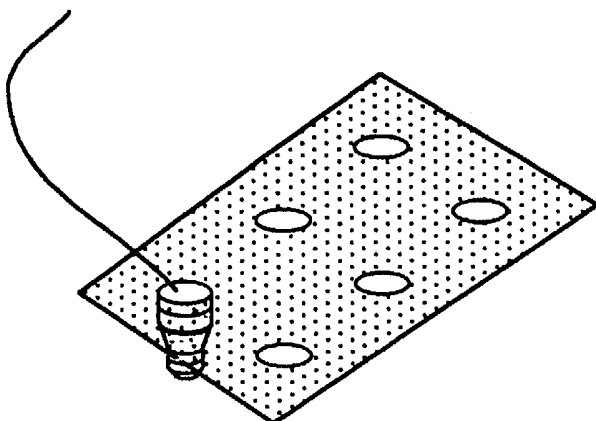


FIG.13

Premier usinage
Durée d'usinage = Durée d'usinage +
durée de mesure



Deuxième usinage et suivants
Durée d'usinage ÷ Durée d'usinage par électro-érosion

FIG.14A FIG.14C FIG.14E

FIG.14B FIG.14D

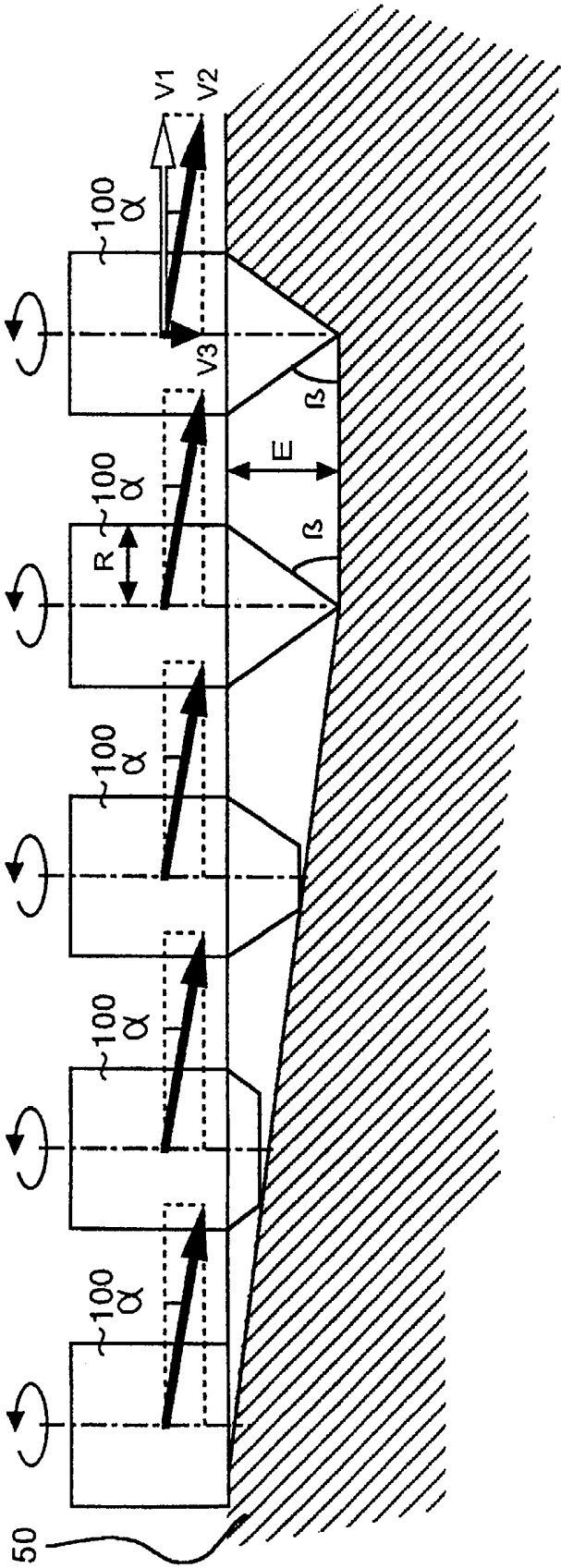


FIG.15A

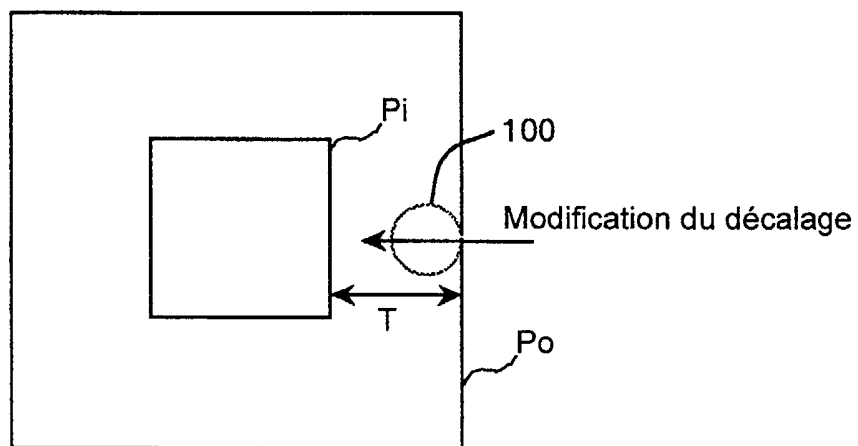


FIG.15B

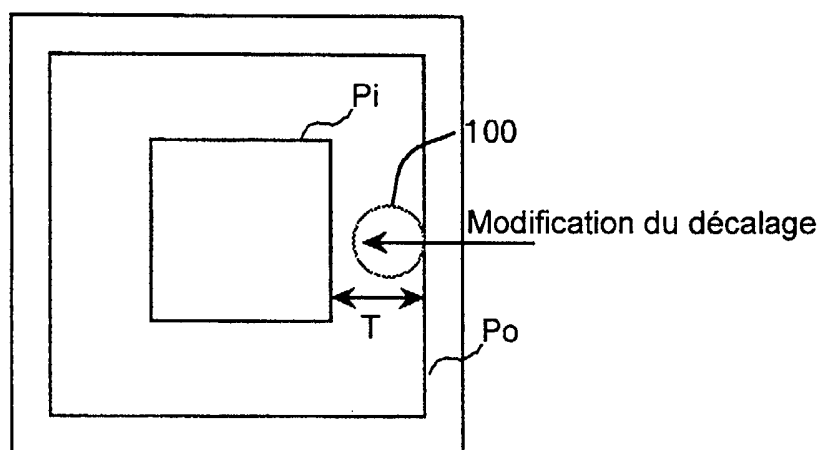


FIG.16A

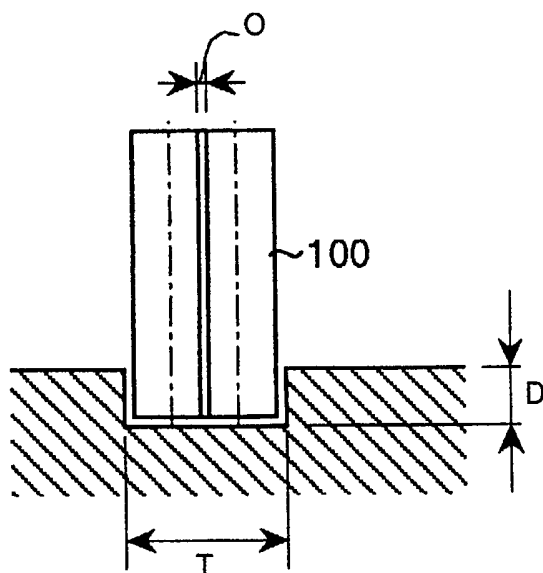


FIG.16B

