

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 736 571

②1 N° d'enregistrement national : **96 08553**

⑤1 Int Cl⁶ : B 23 Q 15/04, B 24 B 19/12

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 09.07.96.

③0 Priorité : 10.07.95 GB 9514042.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : 17.01.97 Bulletin 97/03.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : WESTERN ATLAS UK LIMITED —
GB.

⑦2 Inventeur(s) : PICKLES JOHN DAVID et GRIFFITHS
SELWYN JONATHAN.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : ERNEST GUTMANN YVES
PLASSERAUD SA.

⑤4 AMELIORATION CONCERNANT LES MACHINES-OUTILS A COMMANDE NUMERIQUE.

⑤7 Dans une machine-outil, un élément tel qu'une meule agit sur une pièce à usiner pour la rendre de forme circulairement asymétrique, par exemple, de celle d'un maneton. Le mouvement de la meule est contrôlé par un signal de commande déduit des positions et des vitesses de position relatives théoriques de la meule par rapport à la pièce. Au cours d'au moins une révolution de la pièce, les positions respectives de la meule par rapport à la pièce sont mesurées pour chacune d'une succession de positions angulaires de la pièce. Les positions mesurées sont comparées avec les positions théoriques correspondantes et les données indicatrices de toute différence sont stockées et utilisées ensuite pour modifier le signal de commande pendant une révolution suivante de la pièce de façon à compenser pour chacune desdites différences et réduire ainsi l'amplitude de toute erreur qui résulterait des différences de position mesurées.

FR 2 736 571 - A1



1

Cette invention est relative à une méthode de contrôle d'une machine-outil de sorte qu'elle retire la matière composant une pièce à usiner tournante pour lui donner la forme voulue, laquelle est circulairement asymétrique par rapport à l'axe de rotation de la pièce. L'invention est, en particulier, applicable aux rectifieuses
5 de composants comme, par exemple, des manetons et des arbres à cames. L'invention est aussi applicable à d'autres machines, par exemple des fraiseuses, des machines tournantes à broche et des machines rotatives (comme des tours).

Une pièce à usiner tournant autour d'un axe peut être meulée en parties circulairement asymétriques par rapport à cet axe de rotation au moyen d'une
10 meule en forme de roue qui se déplace latéralement par rapport à cet axe. Pour meuler les parties rapidement, et avec une grande précision géométrique, un système asservi de hautes performances est utilisé pour commander l'avancée et le recul de la meule par rapport à la pièce lorsque celle-ci tourne.

Le système asservi comprend des capteurs pour mesurer la position de la roue et la vitesse avec laquelle elle s'approche ou s'éloigne de la pièce, qui sont reliés aux boucles de rétroaction respectives de position et de vitesse qui facilitent le contrôle précis de ces paramètres par un ordinateur de commande. Typiquement, 5 la boucle de rétroaction de position possède une bande passante de 10 Hz et la boucle de vitesse, une bande de 200 Hz.

L'ordinateur de commande peut calculer très précisément la position exacte de la meule nécessaire pour toute partie angulaire de la pièce (l'angle de la pièce), de manière à générer le diamètre de décalage voulu. Le même ordinateur peut 10 mesurer la position instantanée de la meule (par la boucle de rétroaction de position) pour tout angle de la pièce à usiner, en utilisant un système de mesure de grande précision à grande vitesse, tel qu'une échelle linéaire d'une résolution typique en position de 0,0001 mm.

L'ordinateur, connaissant la position demandée et la vraie position de la meule, 15 peut calculer l'erreur de position et communiquer le signal d'erreur obtenu à partir de celle-ci au système asservi commandant les mouvements de la meule, de façon à corriger sa position et minimiser ainsi l'erreur de position pour toute position angulaire de la pièce à usiner.

De façon à satisfaire aux tolérances géométriques requises du composant 20 terminé, les erreurs de position de la meule doivent être inférieures à 0,001 mm.

Cependant, il est difficile de maintenir les limites d'erreur requises pour obtenir une telle précision, particulièrement si la pièce doit tourner à des vitesses de plus de 20 rpm (20 tours par mn), compte tenu de la bande passante limitée de la boucle de commande en position. De plus, il n'existe pas de correction des
5 contributions à l'erreur variables dans le temps (par exemple les dérives électroniques ou du servomécanisme) qui peuvent devenir significatives sur une période de temps prolongé.

Un des buts de la présente invention est de proposer un système de commande amélioré et une méthode de commande d'une machine outil pour parvenir à
10 l'enveloppe d'erreur voulue, avec de plus grandes vitesses de rotation de la pièce.

Selon l'invention, une méthode de commande d'une machine-outil est proposée, de sorte qu'un élément de la machine retire la matière composant une pièce à usiner tournante pour lui donner la forme voulue, qui est circulairement asymétrique, cette méthode comportant les étapes consistant à:

15 générer un signal de commande déduit des données théoriques de position et vitesse de position de l'élément par rapport à la pièce à usiner, et qui fait se déplacer l'élément par rapport à la pièce dans les directions latérales à l'axe de rotation de cette dernière;

durant au moins une révolution de la pièce, mesurer les positions respectives de
20 l'élément par rapport à la pièce lorsque celle-ci occupe chacune d'une succession de positions angulaires;

comparer les positions mesurées avec les positions théoriques correspondantes et stocker les données indiquant toute différence entre ces positions; et

modifier le signal de commande pendant la révolution suivante de la pièce pour compenser lesdites différences et réduire ainsi l'amplitude de toute erreur qui
5 aurait résulté des écarts de position mesurés.

L'élément et la pièce sont montés de manière adéquate sur le bâti de la machine. L'élément peut être fixe par rapport au bâti, auquel cas ledit déplacement latéral est réalisé en déplaçant la pièce latéralement par rapport au bâti. De préférence cependant, l'axe de rotation de la pièce est fixe par rapport au bâti et ledit
10 déplacement latéral relatif est réalisé en déplaçant l'élément par rapport au bâti.

De préférence, la machine-outil est une rectifieuse, l'élément comprenant une meule.

Un ordinateur peut mesurer de façon très précise l'erreur de position de la meule pour tout angle de la pièce. Il a été trouvé que cette erreur de position est
15 systématique pour toute vitesse de pièce donnée et toute trajectoire en position de la meule pendant toute période de temps donnée et les erreurs détectées pendant une révolution n'ont pas à être corrigées « instantanément » durant cette révolution, mais peuvent être compensées durant une révolution suivante. En conséquence, le signal de commande peut être modifié en prenant en compte,
20 non seulement les positions de la meule requises qui compensent les erreurs mesurées précédemment, mais aussi la vitesse requise d'avancée ou de recul de

la meule (sa vitesse de position). Ceci est significatif car la boucle de rétroaction de commande de vitesse, avec une bande passante de 200 Hz typiquement, possède une plus grande capacité de contrôle de la position de la meule à des vitesses plus élevées de travail que la boucle de position seule, car la bande
5 passante plus large permet une réponse plus rapide aux changements requis que celle de la boucle de position.

De préférence, les mesures des positions de l'élément sont faites à chacune parmi une pluralité de révolutions de la pièce, de préférence successives, et les données obtenues pendant chacune desdites révolutions sont utilisées pour
10 modifier le signal de commande de la révolution suivante.

Là où il n'est pas nécessaire de conserver un enregistrement des corrections d'erreur, les données obtenues pendant une révolution donnée peuvent remplacer les données d'erreur acquises pendant une révolution précédente, et les données plus anciennes peuvent être abandonnées.

15 De préférence, chaque position mesurée est la moyenne d'une pluralité de positions mesurées de la meule pour des positions angulaires voisines de la pièce au cours de la même révolution de celle-ci. Typiquement, chacune est une moyenne de dix mesures, qui sont prises à intervalles angulaires d'environ 0,1 degré (l'intervalle angulaire peut varier avec la vitesse requise de rotation de la
20 pièce).

Selon la méthode, les mesures des positions de la meule interviennent alors que la meule rectifie la pièce à sa forme. Cependant, selon un perfectionnement de la méthode, les mesures des positions de l'élément par rapport à la rotation de la pièce sont prises pendant que ne s'exerce que peu ou pratiquement pas de force
5 entre l'élément et la pièce. La donnée d'erreur associée est ensuite utilisée pour modifier le signal de commande pour une pluralité de révolutions suivantes, durant lesquelles l'élément travaille.

Ceci peut être réalisé en réduisant la force de contact entre la pièce et la meule pendant une ou plus révolutions de la pièce sélectionnées de sorte qu'il y ait un
10 mouvement nul ou minimal de la meule vers la pièce pendant cette révolution, c'est-à-dire que « l'alimentation » de la meule est minimale ou nulle, minimisant ainsi (ou éliminant) toutes erreurs provenant du système de mesure d'alimentation de la meule.

De préférence, la révolution choisie intervient après une pluralité de révolutions
15 précédentes, pour chacune desquelles le signal de commande a été modifié, et peu de temps avant la fin supposée du processus.

Une méthode selon l'invention va maintenant être décrite, à titre d'exemple, avec référence aux dessins en annexe, dans lesquels:

la figure 1 est une vue de côté schématique simplifiée d'une rectifieuse mettant en
20 oeuvre la méthode;

la figure 2 est une vue en perspective plus détaillée d'une rectifieuse avec laquelle la méthode peut être mise en oeuvre; et

la figure 3 est une représentation perspective schématique de la machine illustrée à la figure 2, montrant les axes le long desquels différentes parties de la machine
5 se déplacent.

La méthode peut être mise en oeuvre avec un appareil comprenant une rectifieuse cylindrique comportant un bâti 1 ayant un assemblage tournant (non montré) pour supporter une pièce à usiner 2 et des moyens de mise en rotation de cette pièce 2 de façon contrôlée. Une meule 4 agit sur la pièce 2, portée par
10 une poupée porte-meule 6. Ce dernier et, en conséquence, la meule 4 sont déplaçables latéralement par rapport à l'axe de rotation de la pièce dans le sens des flèches 8. La poupée porte-meule 6 est déplacée latéralement par une transmission à vis sans fin comprenant un passage fileté dans une oreille 10 de la poupée porte-meule 6, et un arbre fileté 12 monté en rotation sur le bâti 1 et se
15 prolongeant au travers du passage de l'oreille 10. L'arbre est piloté par un servomoteur 14 associé à un compteur de tours 16 pour mesurer la vitesse de rotation de l'arbre 12. La vitesse de la poupée 6, et donc la vitesse de position de la meule 4, peuvent être déduite de cette mesure.

La poupée 6 porte une échelle linéaire 18, lue par un capteur 20, qui détermine la
20 position de la poupée 6 et donc de la meule 4.

Les capteurs 16 et 20 font partie d'un servo-système qui comprend un ordinateur 22, pour commander la vitesse et la position de la poupée 6, et donc de la meule 4, et qui comprend aussi les boucles de rétroaction de position et de vitesse.

Les données sur les positions théoriques de la meule pendant la rectification sont stockées dans une mémoire de l'ordinateur 22. Ce dernier est programmé pour générer un signal de commande du moteur 14 et ainsi commander la position (et la vitesse de position) de la meule 4. L'ordinateur 22 est aussi conçu pour comparer les positions mesurées de la meule 4 à différentes positions angulaires de la pièce 2. Ceci permet à l'ordinateur, pour une révolution donnée de la pièce 2, de construire une table de l'erreur de position de la meule en fonction de l'angle de la pièce. L'ordinateur est aussi conçu pour utiliser cette table ensuite pour modifier les signaux de commande pour compenser toute erreur.

Dans cet exemple, la pièce 2 a la forme d'un vilebrequin portant un nombre de manetons, dont l'un est référencé 24, qui doivent être rectifiés individuellement par la meule 4. Ainsi, lorsque le premier maneton a été rectifié par la meule 4, la pièce est déplacée axialement dans une direction perpendiculaire au plan de la figure 1, jusqu'à ce que la zone de la pièce correspondant au prochain maneton à rectifier soit en alignement avec la meule 4, permettant au meulage de commencer. Le meulage et les étapes de repositionnement sont répétées jusqu'à ce que tous les manetons soient rectifiés.

La machine illustrée sur la figure 2 est prête à meuler un vilebrequin 26 monté à une extrémité d'une poupée fixe 28. Celle-ci comporte une commande (non montrée) de rotation du vilebrequin 26 autour de son axe principal. L'extrémité opposée du vilebrequin 26 est montée de façon à être orientable dans une contre-poupée 30 montée à coulissement dans une glissière 32. Cette dernière est
5 située sur un chariot 34 qui porte aussi la poupée fixe 28. Ainsi, la contre-poupée 30 peut s'approcher ou s'éloigner de la poupée fixe 28 pour s'adapter à des manetons de différentes longueurs, mais la poupée et la contre-poupée peuvent être manoeuvrées ensemble pour replacer la pièce.

- 10 Pour cela le chariot 34 peut glisser le long d'un logement 36 et est relié à une commande de mise en place (non montrée) pour déplacer le chariot 34 le long de ce logement 36 et amener chacun des manetons à son tour en alignement avec une meule 38. Ce mouvement est indiqué par l'axe Z de la figure 3.

- La meule 38 est partiellement protégée par un assemblage de protection 40, et
15 est montée en rotation sur un entraînement 42 qui est à son tour fixé sur une table 44 portée en glissement par un logement 46. Un autre moteur 48 fait fonctionner un entraînement de type transmission à vis sans fin (non illustré), similaire à l'entraînement montré dans la machine de la figure 1, pour faire glisser la table 44, et donc l'entraînement 42, l'assemblage 40 et la meule 38 le long du logement
20 46. Le moteur 48 provoque ainsi l'approche ou le recul de la meule 38 horizontalement vers le vilebrequin 26 dans la direction de l'axe « X » indiqué sur la figure 3. Ce mouvement fait glisser entraînement 42 sur un bloc support 50 attaché au logement 46.

Un capteur 47 similaire au capteur 20 est aussi attaché au logement 46 et conçu pour lire une échelle linéaire (non montrée), similaire à l'échelle 18 sur la table 44.

De façon semblable, le moteur 48 est associé à un compteur de tours visant au même but que le compteur de tours 16.

- 5 La machine comporte aussi des capteurs pour déterminer la position de la poupée fixe 28 et de la contre-poupée 30 sur le logement 36, et les vitesses de rotation du vilebrequin 26 et de la meule 40.

Les sorties de ces capteurs sont transmis à un ordinateur (non illustré) qui commande la position et la vitesse de rotation du vilebrequin 26 et de la meule 38,
10 de façon que chaque maneton soit rectifié à son tour selon la méthode décrite en relation avec la machine illustrée à la figure 1.

Après de nombreuses opérations de rectifications, la surface de meulage de la roue 38 peut devenir irrégulière ou usée. La rectifieuse est donc fixée à un dresse-meule 52 par retirer toute irrégularité de cette sorte, pour assurer que la
15 surface de la meule est cylindrique et concentrique à l'axe de rotation de la meule.
Dans un but de clarté, le dresse-meule 52 a été omis sur la figure 2.

Avec les deux machines précédemment décrites, la procédure de compensation peut être intégrée presque de façon transparente dans le processus de production, comme suit.

Sur un signal donné, par exemple au début de chaque jour, ou à un changement
5 de composant ou à la demande de l'opérateur, un cycle « correction » est initié.

Un cycle normal de rectification est démarré.

La meule 4 se déplace vers la pièce 2. Cette pièce 2 commence à tourner à la vitesse angulaire normalement utilisée pour la meuler alors que simultanément la meule 4 commence à se déplacer selon la trajectoire calculée à partir de
10 l'information position/vitesse théorique stockée dans la mémoire pour rectifier à la forme voulue. Si elle a été initiée pendant un processus de rectification, toute correction précédente est ignorée.

Pendant chaque révolution suivante de la pièce 2, une table d'erreurs de positions de meule par rapport à l'angle de la pièce est construite, les données les plus
15 récentes étant écrites par-dessus les données de la révolution précédente, de sorte que la table contienne toujours les données d'erreurs de position de la révolution la plus récente.

La table est utilisée pendant chaque révolution de la pièce 2 pour « corriger » les signaux développés par l'ordinateur 22 pour déterminer la position et la vitesse de la meule. L'important est que, en influençant le signal de commande de vitesse aussi bien que le signal de position, une meilleure réponse est obtenue car le système de commande de la vitesse possède une bande passante de typiquement 200 Hz et possède ainsi une plus grande capacité que la boucle de position à contrôler la position de la meule à des vitesses de travail élevées.

En un point choisi du cycle de rectification, typiquement près de la taille finale, mais pas nécessairement, une révolution de la pièce 2 est faite avec peu ou pas d'effort de coupe de la meule 4. Les erreurs de positions pendant cette révolution sont mathématiquement lissées, stockées et utilisées comme table de corrections pendant les révolutions suivantes de la pièce.

Sur les machines équipées d'une jauge de calibrage, ceci sera un moment opportun pour arrêter la rotation de la pièce, appliquer la jauge et calculer toute erreur de taille.

Après que la jauge a été retirée, la meule 4 est de nouveau déplacée vers la pièce 2, qui redémarre et tourne à la vitesse angulaire nécessaire à la rectification pendant que simultanément l'avance de la poupée porte-meule est reprise pour déplacer la meule le long de la trajectoire « correcte », éliminant ainsi les erreurs mesurées.

Comme option au cycle ci-dessus, des tables des erreurs de position de rectifications successives peuvent être moyennées et la table résultante lissée pour faire la moyenne de toutes les erreurs possibles émanant du servomécanisme de commande (non illustré), ce qui peut arriver par la

5 rectification de la même forme en différents angles.

Les procédures ci-dessus peuvent également être appliquées au meulage de parties non arrondies telles que des bossages de cames, sur une rectifieuse cylindrique.

REVENDICATIONS

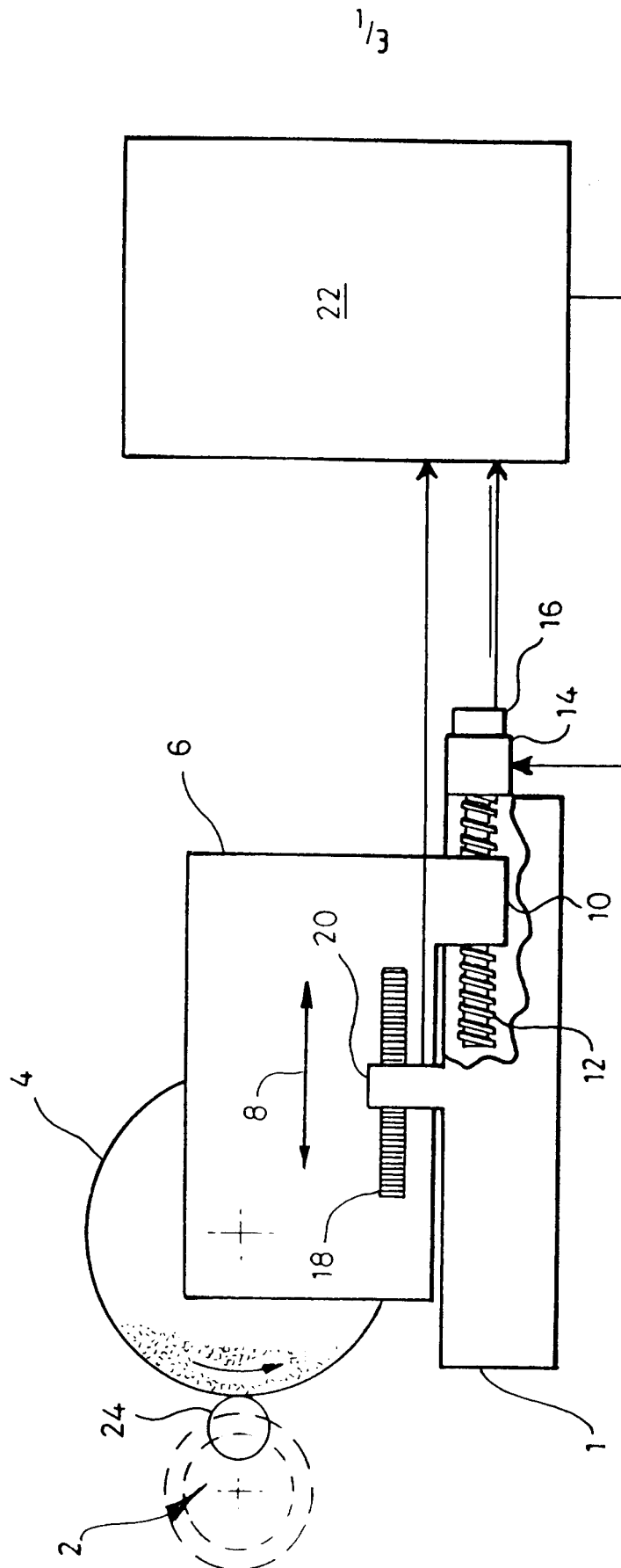
1. Méthode de commande d'une machine-outil de sorte qu'un élément de la machine retire de la matière composant une pièce à usiner tournante pour lui donner la forme voulue, qui est circulairement asymétrique, comportant les
5 étapes consistant à:
 - a) générer un signal de commande déduit des données de position et de vitesse de position théoriques de l'élément par rapport à la pièce à usiner, et qui fait se déplacer l'élément par rapport à la pièce dans les directions latérales à l'axe de rotation de cette dernière;
 - 10 b) durant au moins une révolution de la pièce, mesurer les positions respectives de l'élément par rapport à la pièce lorsque cette pièce occupe chacune de la succession de positions angulaires;
 - c) comparer les positions mesurées avec les positions théoriques correspondantes et stocker les données indiquant toute différence entre ces
15 positions;
 - d) modifier le signal de commande pendant une révolution suivante de la pièce pour compenser lesdites différences et réduire ainsi l'amplitude de toute erreur qui aurait résulté des écarts de position mesurés.

2. Méthode selon la revendication 1, selon laquelle l'élément et la pièce sont montés sur un bâti de machine, l'axe de rotation de la pièce étant fixe par rapport au bâti et ledit déplacement latéral de l'élément étant réalisé en déplaçant l'élément par rapport à celui-ci.
- 5 3. Méthode selon la revendication 1 ou 2, selon laquelle la machine-outil est une rectifieuse et l'élément comporte une meule.
4. Méthode selon une quelconque des revendications précédentes, selon laquelle les mesures des positions de l'élément sont faites à chacune parmi une pluralité de révolutions de la pièce, de préférence successives, et les
10 données obtenues pendant chacune desdites révolutions sont utilisées pour modifier le signal de commande de la révolution suivante.
5. Méthode selon la revendication 4, selon laquelle les données obtenues pendant une révolution donnée de la pièce à usiner remplacent les données obtenues pendant une révolution précédente, et les données plus anciennes
15 peuvent être abandonnées.
6. Méthode selon une quelconque des revendications précédentes, selon laquelle chaque position mesurée de l'élément est la moyenne d'une pluralité de positions mesurées pour des positions angulaires voisines de la pièce au cours d'une même révolution de celle-ci.

7. Méthode selon une quelconque des revendications précédentes, selon laquelle, durant une révolution de la pièce, les mesures des positions de l'élément par rapport à la pièce sont prises pendant que ne s'exerce que peu ou pratiquement pas de force entre l'élément et la pièce, et la donnée associée est ensuite utilisée pour modifier le signal de commande au cours d'une pluralité de révolutions suivantes, durant lesquelles l'élément travaille.
8. Méthode selon la revendication 7, selon laquelle ladite révolution intervient après une pluralité de révolutions précédentes, pour chacune desquelles le signal de commande a été modifié, et peu de temps avant la fin supposée du processus.
9. Machine-outil pour donner à une pièce à usiner tournante une forme circulairement asymétrique par rapport à l'axe de rotation de cette pièce, la machine-outil comportant un élément pour retirer de la matière composant une pièce à usiner, des moyens d'actionnement pour déplacer l'élément latéralement par rapport à l'axe de rotation de cette pièce, des capteurs pour déterminer la position et les vitesses de position de l'élément par rapport à la pièce, et des moyens de commande reliés aux moyens d'actionnement et aux capteurs et conçus pour générer un signal de commande déduit des données des positions et des vitesses de position théoriques de l'élément pour chaque révolution de la pièce pour provoquer ledit déplacement relatif de l'élément, pour mesurer, pendant une révolution de la pièce, les positions relatives respectives de l'élément lorsque la pièce occupe chacune d'une succession de positions angulaires, pour comparer les positions mesurées avec les positions théoriques correspondantes, pour stocker des données indiquant toute

différence entre les positions mesurées et théoriques, et pour modifier le signal de commande pendant une révolution suivante de la pièce pour compenser lesdites différences et réduire ainsi l'amplitude de toute erreur qui aurait résulté des différences de position mesurées.

- 5 10 Machine-outil selon la revendication 9, dans laquelle l'élément comprend une meule.



2/3

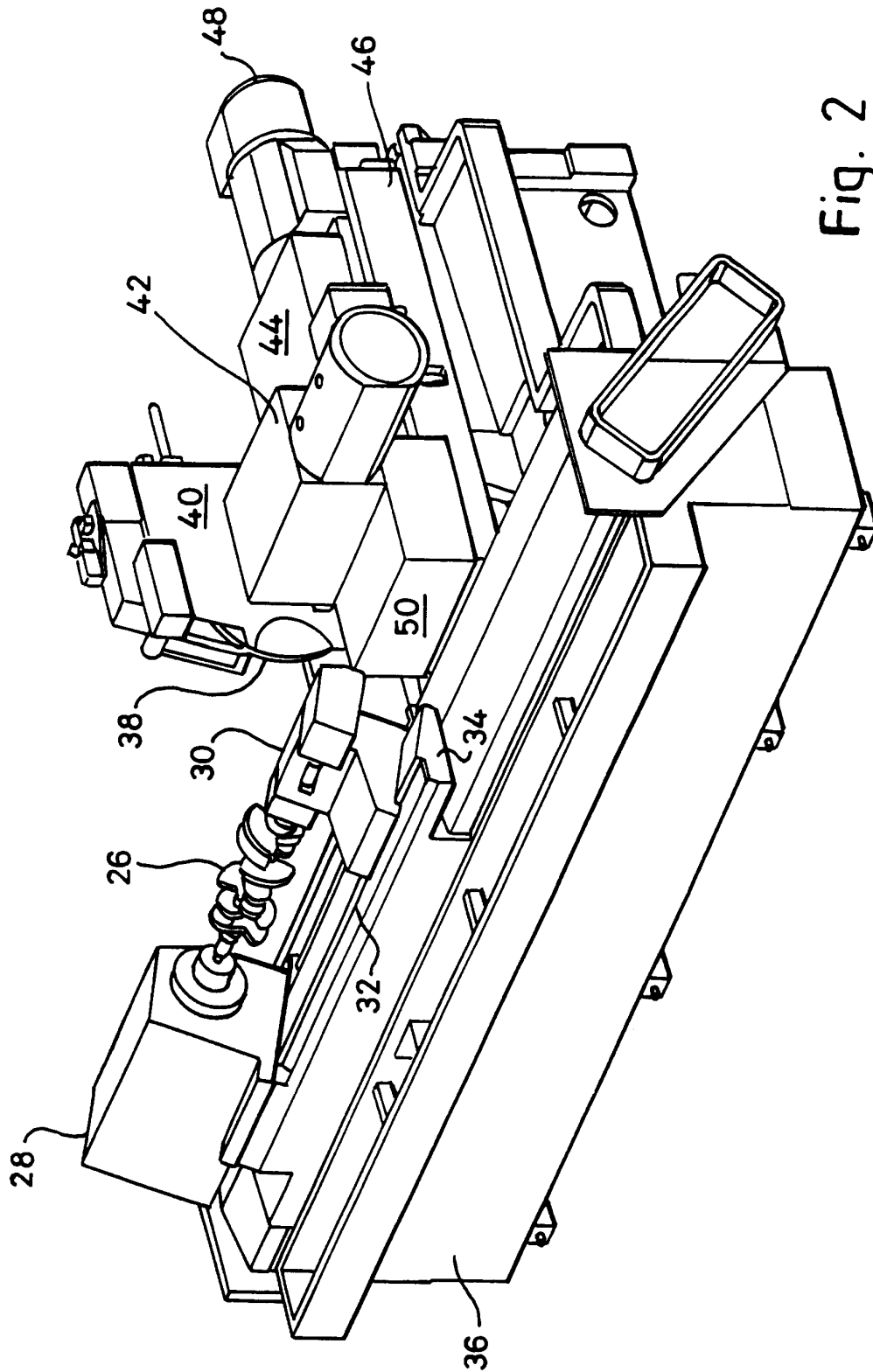


Fig. 2

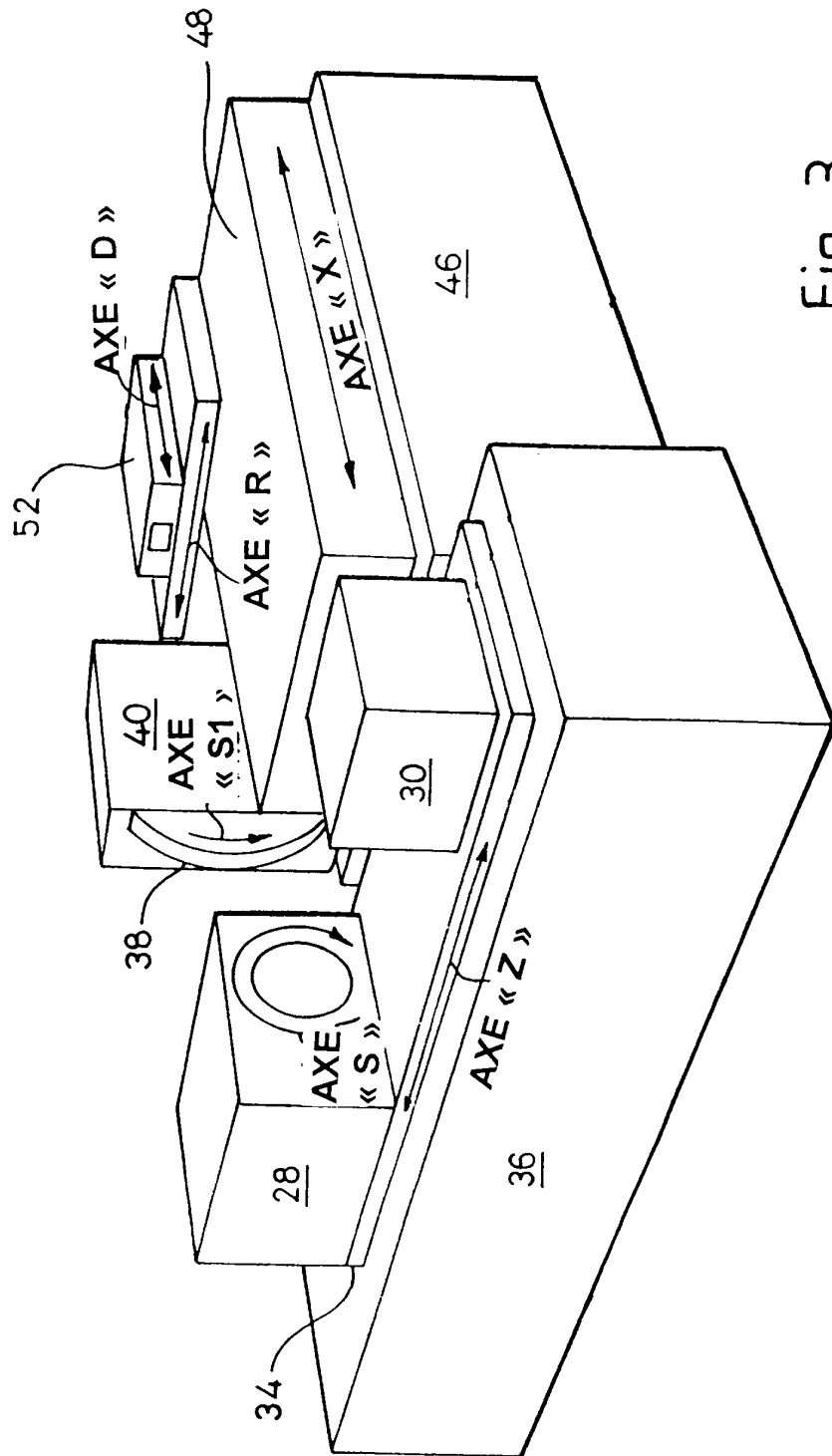


Fig. 3