



(11)

EP 1 525 949 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
05.03.2008 Bulletin 2008/10

(51) Int Cl.:
B24D 11/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **04300676.6**

(22) Date de dépôt: **12.10.2004**

(54) **Procédé de polissage automatisé de pièces mécaniques en titane ou alliage de titane**

Automatisiertes Poliervfahren von mechanischen Werkstücken aus Titan oder Titanlegierungen

Automated method of polishing mechanical titanium or titanium alloy workpieces

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(30) Priorité: **14.10.2003 FR 0312005**

(43) Date de publication de la demande:
27.04.2005 Bulletin 2005/17

(73) Titulaire: **SNECMA**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **Bouillot, Bertrand**
75019 Paris (FR)
• **Keller, Alain**
60530 Dieudonné (FR)

- **Langeard, Daniel**
95220 Herblay (FR)
- **Martinez, Alain**
91100 Corbeil (FR)
- **Nguyen, Giao-Minh**
92400 Courbevoie (FR)

(74) Mandataire: **David, Daniel et al**
Cabinet Bloch & Associés
23bis, rue de Turin
75008 Paris (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 263 785 WO-A-98/05473
DE-A- 4 424 167 US-A- 5 193 314
US-B1- 6 280 288 US-B1- 6 383 064

EP 1 525 949 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine du polissage des pièces mécaniques en titane ou en alliage de titane. Elle se rapporte en particulier aux aubes de turbomachines et notamment aux aubes de grande taille telles que des aubes de soufflante dans un turboréacteur et vise en particulier un procédé de fabrication de telles aubes mettant en oeuvre le dit polissage.

[0002] Pour le polissage de pièces mécaniques, on recherche généralement des matériaux abrasifs à moindre coût qui résistent à la contrainte et qui engendrent une faible pollution. La pollution dans ce domaine consiste en des grains de matière abrasive qui se logent dans la masse de la pièce. Elle doit être évitée de façon impérative dans les aubes en titane ou en alliage de titane de turboréacteur.

[0003] On utilise conventionnellement pour le polissage des aubes des bandes abrasives en carbure de silicium. La bande est montée sur une roue entraînée en rotation tangentielle à la surface de la pièce. Le déplacement de la roue par rapport à la surface de la pièce est piloté par un programme en fonction de la géométrie voulue. Les paramètres tels que la vitesse de défilement de la bande sur la surface, la vitesse de déplacement de la roue par rapport à la pièce ainsi que la pression exercée sur la surface sont déterminées de manière à enlever l'épaisseur requise de matière et assurer un certain état de surface. On trouve une description d'une machine de polissage par bande abrasive dans le brevet US 5 193 314.

[0004] Cependant ce matériau n'est pas entièrement satisfaisant.

Les bandes s'usent rapidement. Pour des aubes de soufflante de turboréacteur par exemple, on consomme deux bandes par pièce lors de la mise en conformité géométrique à partir d'une ébauche semi-finie.

Le matériau abrasif pollue le titane. Des précautions doivent être prises pour l'éviter.

Le dépôt de l'abrasif sur les bandes que l'on trouve dans le commerce est réalisé en général par des moyens électrostatiques. La régularité du dépôt n'est pas optimale. Elle conduit à une certaine dispersion en terme d'enlèvement de matière. Le polissage n'est pas homogène. Il s'ensuit la nécessité de procéder à des ajustages manuels de l'enlèvement de matière associés ou non à des rééquilibrages des épaisseurs.

[0005] On utilise le polissage par bande abrasive notamment dans le cadre d'un procédé de mise en conformité géométrique d'aubes semi-finies issues du forgeage par exemple. On enlève par le polissage une épaisseur de matière déterminée. Cependant le matériau abrasif conventionnel enlève une quantité insuffisante de matière par passage de la roue avec la bande, qui oblige à des opérations complémentaires d'enlèvement de matière et de contrôle des épaisseurs. Ainsi un procédé de mise à conformité géométrique d'une aube forgée semi-finie comprend-il un usinage chimique avant le

polissage. Après avoir poli la pièce une première fois avec un grain déterminé, on doit procéder encore à un usinage chimique et à des retouches manuelles sur des meuleuses droites électriques ou avec des tourets ou autre machine portable.

[0006] La présente invention vise à pallier les inconvénients rencontrés avec les bandes abrasives de l'art antérieur.

[0007] Conformément à l'invention le procédé de polissage automatisé de pièces mécaniques en titane ou alliage de titane semi-finies, au moyen d'une machine avec une bande abrasive montée sur une roue à contact tangentiel entraînée en rotation avec une vitesse et appliquée avec une pression déterminées, la roue se déplaçant par rapport à la surface de la pièce avec une vitesse déterminée, est caractérisé par le fait que la bande abrasive est constituée de grains super-abrasifs en diamant industriel ou en nitrure de bore cubique pour un polissage en aspect final et enlèvement d'une surépaisseur comprise entre 0.01 mm et 0,2 mm, de préférence de 0,1 mm.

[0008] Après essais, on a constaté avec surprise que l'emploi de bandes de ce type permettait de résoudre les problèmes posés avec les bandes abrasives conventionnelles.

[0009] La couche abrasive de la bande est plus précise. Par exemple dans le cas du diamant la formation de la bande se fait par un dépôt électrochimique plus homogène. Les grains de super abrasif sont supportés par une couche de nickel qui est elle-même solidaire d'une base en polyester. La couche de nickel absorbe la chaleur et évite l'écrouissage de la pièce.

[0010] En raison de la plus grande précision de la couche abrasive de la bande, les quantités de matière sont enlevées avec une dispersion en épaisseur très faible. Cette faible dispersion présente un avantage important dans le cadre de la mise en conformité géométrique des aubes à partir de pièces semi-finies avec surépaisseur déterminée. L'enlèvement de matière est effectué avec un écart par rapport à la cote de consigne suffisamment faible pour que l'on reste à l'intérieur de la bande de tolérance de forme de la pale. On évite ainsi le besoin de procéder à des ajustages manuels par meulage.

[0011] En particulier, pour le polissage des aubes, quand on souhaite réduire une surépaisseur déterminée résultant du forgeage de pièce ou bien de l'usinage, les paramètres machines sont fixés dans les intervalles suivants :

- Force d'application de la roue sur la surface de la pièce : 137N à 196N
- Vitesse de défilement de la bande : 4,6 m/s à 18,6 m/s
- Plage d'avance relative de la roue par rapport à la pièce 3,4 m/min à 6,7 m/min.

[0012] Avantagusement, la surépaisseur est comprise entre 1/10 mm et 8/10 mm, de préférence entre 2/10

et 4/10 mm pour un polissage de premier aspect.

[0013] Avantageusement, la roue de contact est rainurée avec des rainures disposées obliquement par rapport à l'axe de rotation de la roue. L'angle est en particulier de 25 à 35°.

[0014] Plus particulièrement la surface de contact de la roue avec la bande abrasive a une dureté de 70 Shore.

[0015] On décrit ci-après l'invention plus en détail en référence à un mode de réalisation non limitatif et en se reportant aux dessins annexés sur lesquels

- la figure 1 représente schématiquement une machine de polissage pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention,
- la figure 2 est une vue latérale de la machine de la figure 1,
- la figure 3 représente en coupe une bande utilisée dans le cadre de l'invention.

[0016] La machine est à cinq ou six axes de liberté. Un exemple de réalisation 1 est représenté sur la figure 1. Il s'agit par exemple d'une machine disponible dans le commerce et fournie par la société Metabo. On voit une table 10 avec deux mors 11 et 13 entre lesquels la pièce de forme allongée telle qu'une aube de compresseur, est maintenue horizontale. L'ensemble de la pièce avec son support peut se déplacer dans cette direction X ou tourner sur lui-même autour de cet axe dans la direction U par le moyen de moteurs électriques appropriés Mx et Mu. Au-dessus de la table, une tête 100 est montée sur un pylône vertical 20 et peut se déplacer le long de son axe Z. La tête 100 peut également se mouvoir en rotation W autour de cet axe Z. Des moyens moteurs appropriés Mz et Mw sont prévus pour l'entraînement de la tête dans ces deux directions. Enfin la tête 100 peut se déplacer horizontalement dans la direction Y perpendiculaire à la direction X et pivoter selon la direction V autour de cet axe. Des moyens moteurs My et Mv assurent ces déplacements. La tête 100 supporte une roue 110 de contact mobile autour d'un axe qui est fixe par rapport à elle-même. Un moteur monté sur la tête 100 assure l'entraînement de la roue 110 par le biais d'une bande abrasive qui est montée à la périphérie de la roue.

[0017] L'ensemble des moyens moteurs est relié à un boîtier de commande qui comporte une unité de commande avec des moyens de programmation et des mémoires incorporant notamment les données géométriques de la pièce à polir.

[0018] Pour polir la pièce, on applique la bande localement tangentiellement à sa surface en exerçant une pression déterminée et on la met en mouvement. Elle tourne avec la roue autour de son axe.

[0019] La valeur d'enlèvement et l'état de surface désirés dépendent à la fois du grain de la bande mais aussi des paramètres machines appliqués ainsi que des caractéristiques de la roue de contact.

[0020] Les paramètres d'une machine ainsi configurée sont :

- la force (N) exercée par la roue de contact sur la pièce,
- la vitesse déplacement relative de la bande le long de l'axe de la pièce, ici l'axe X,
- la vitesse de défilement de la bande (m/s) sur la pièce dans la direction de rotation de la roue.

[0021] On détermine ces paramètres pour une roue bien définie, aussi bien géométriquement que selon la qualité du matériau qui la constitue. Par exemple on utilise une roue de largeur déterminée, 25 mm avec un diamètre extérieur déterminé, 120 mm. La roue comporte en surface des rainures inclinées à 30°, de largeur 3 mm et distantes entre elles de 17 mm. Le matériau à la périphérie de la roue est un caoutchouc, de dureté déterminée, par exemple de 70 shore.

[0022] Une telle machine est utilisée dans le cadre d'opérations de mise en conformité géométrique et de finition par polissage d'une pièce semi-finie.

[0023] Ces opérations comprennent un certain nombre d'étapes que l'on décrit ci-après. La pièce semi-finie venant de la station de forgeage présente une forme et des caractéristiques dimensionnelles proches de la pièce finie. Cependant ses cotes ne sont pas encore définitives en raison d'une surépaisseur déterminée. Dans le cadre du forgeage de précision, cette surépaisseur est fixée de 2/10 à 4/10 de mm. L'opération de polissage automatisé a pour objet de faire disparaître cette surépaisseur.

Avant le polissage, on prépare la pièce semi-finie

[0024] On commence par le contrôle dit de tri-épaisseur par lequel on vérifie les données dimensionnelles de la pièce et, le cas échéant, on procède au masquage des parties de la surface dont l'épaisseur est insuffisante par rapport aux données. Ce rééquilibrage des épaisseurs peut être réalisé par application d'un ruban adhésif.

[0025] L'étape suivante de préparation consiste en un usinage chimique. Par ce moyen, on dissout chimiquement les alliages de titane dans un bain composé d'acide nitrique, d'acide fluorhydrique et d'autres agents comme des agents de mouillage ou de l'eau. Le temps d'immersion dans le bain détermine la quantité de matière éliminée. L'avantage de l'usinage chimique est d'enlever une épaisseur de matière uniforme, indépendamment de sa forme.

[0026] On répète, si cela est nécessaire, les deux opérations jusqu'à obtenir une surépaisseur déterminée que l'opération de polissage se charge d'éliminer.

[0027] L'opération de polissage par passage de la pièce dans une machine comportant une bande abrasive est en soi connue. On procède à un polissage dit de premier aspect.

[0028] Conventionnellement, on utilise une bande dont l'abrasif est du carbure de silicium et dont le grain est par exemple de 120. On enlève une quantité de matière de 0,25 +/- 0,1 mm.

[0029] En raison de la nature de la bande abrasive, la dispersion en quantité de matière enlevée est importante.

[0030] Un deuxième contrôle de type tri-épaisseur mentionné plus haut associé à un usinage chimique est nécessaire.

[0031] Ce contrôle est suivi d'une étape d'ajustage manuel sur un touret ; cette opération est délicate et ne peut être exécutée que par du personnel qualifié. Lorsque les aubes sont de taille importante, ces opérations manuelles sont la cause éventuelle de maladies professionnelles telles que les TMS (troubles musculo-squelettiques).

[0032] On procède à un polissage de finition avec une bande dont le grain est plus fin. Cependant en raison de la dispersion, l'enlèvement est par exemple de 0,1 mm +/- 0,05 mm. Une validation finale de la géométrie avec retouches manuelles est éventuellement nécessaire.

[0033] Conformément à l'invention, on utilise une bande avec des grains super-abrasifs tels que des grains de diamant industriel ou de nitrure de bore cubique.

[0034] On a représenté sur la figure 3 une coupe schématique d'une bande 200 en représentant sa structure ; le support 210 est un matériau synthétique à base par exemple de polyester. Sur ce support sont accrochés des grains 220 de nickel. Ces derniers servent eux-mêmes de support à des particules super-abrasives telles qu'en diamant industriel ou en nitrure de bore cubique. Le dépôt est effectué par voie électrochimique qui assure la formation d'une couche abrasive homogène.

[0035] De telles bandes abrasives sont disponibles dans le commerce et fournies par exemple par les sociétés 3M, Saint Gobain Abrasives ou KGS

[0036] Grâce à l'homogénéité de sa structure, une telle bande permet un enlèvement de matière avec une faible dispersion d'épaisseur. La précision peut être de 0,01mm pour une bande avec un grain de 220 (=74 µm).

[0037] On a défini les paramètres de la machine pour enlever en un passage une épaisseur de 3/10 mm au plus :

- La plage de force de pression exercée par la roue de contact sur la pièce est de 137N à 196N.
- La plage d'avance de la table est de 3,4 m/min à 6,7 m/min.
- La plage de la vitesse de défilement de la bande abrasive diamant est de 4,6 m/s à 18,6 m/s.
La roue de contact utilisée a les caractéristiques suivantes
- Roue de largeur de 25 mm avec un diamètre extérieur adapté à la géométrie des pièces.
- Rainures définies de façon à avoir suffisamment d'agressivité en terme d'enlèvement de matière.
- Matériau constituant la roue adapté à l'opération et de type caoutchouc.

[0038] Une fois la pièce semi-finie préparée de manière à présenter une surépaisseur par rapport à la cote souhaitée, définie avec précision que ce soit par usinage

chimique, mise en conformité géométrique par retouches manuelles (à l'aide par exemple de fraises en carbure sur meuleuses droites électriques) ou une combinaison des deux opérations, on parvient à la pièce présentant les cotes désirées directement par le polissage au moyen de telles bandes. On n'a pas besoin d'opération d'ajustage manuel entre les deux polissages l'un dit de premier aspect, l'autre dit de finition. On reste de façon remarquable à l'intérieur de la tolérance de forme imposée par les spécifications.

[0039] Le polissage premier aspect par une bande diamant de grain 60 (=250 µm) enlève une quantité de matière de 0,3 mm +/- 0,05 mm et assure un état de surface de 1,8 µm.

[0040] Le polissage en aspect final au moyen d'une bande diamant de grain 220 (=74µm) enlève une quantité de matière de 0,1mm +/- 0,01 mm et assure un état de surface de 0,8 µm.

[0041] L'opération de validation finale qui consiste en un contrôle dimensionnel et d'aspect peut être effectuée sans utilisation du touret ou de la machine à polir portable.

[0042] Il entre également dans le cadre de l'invention de réaliser le polissage premier aspect ou ébauche par tout moyen connu tel que l'usinage chimique, le polissage manuel ou tout polissage mécanique, dans la mesure où le polissage de finition ou dit en aspect final est effectué par la technique de polissage avec bande diamant.

[0043] Plus généralement, le polissage premier aspect est réalisé sur une surépaisseur définie de manière à permettre un enlèvement de matière compris entre 0,1 mm et 0,8 mm, de préférence entre 0,2 mm et 0,4 mm et plus particulièrement, comme rapporté précédemment, de 0,3 mm +/- 0 ;05 mm.

[0044] Le polissage de finition au moyen de la bande diamant avec un grain fin, conformément à l'invention, est réalisé de manière à assurer un enlèvement de matière entre 0,01 et 0,2 mm +/- 0,01 mm et de préférence de 0,1 mm +/- 0.01 mm.

Revendications

1. Procédé de polissage automatisé de pièces mécaniques en titane ou alliage de titane semi-finies au moyen d'une machine avec une bande abrasive montée sur une roue à contact tangentiel entraînée en rotation avec une vitesse et appliquée avec une pression déterminées, la roue se déplaçant par rapport à la surface de la pièce avec une vitesse déterminée, **caractérisé par le fait que** la bande abrasive est constituée de grains super-abrasifs en diamant industriel ou en nitrure de bore cubique pour un polissage en aspect final et enlèvement d'une surépaisseur comprise entre 0,01 mm et 0,2 mm, de préférence de 0,1 mm.

2. Procédé selon la revendication précédente pour le

polissage d'aubes de turbomachines présentant une surépaisseur déterminée, dont les paramètres machines sont fixés dans les intervalles suivants :

- Force d'application de la roue sur la surface de la pièce : 137N à 196N.
 - Vitesse de défilement de la bande : 4,6 m/s à 18,6 m/s.
 - Plage d'avance relative de la roue par rapport à la pièce 3,4 m/min à 6,7 m/min.
3. Procédé selon la revendication précédente dont la surépaisseur est comprise entre 1/10 mm et 8/10 mm, de préférence entre 0,2 et 0,4 mm pour un polissage de premier aspect.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes dont la roue de contact est rainurée.
5. Procédé de fabrication d'aubes de turboréacteur en titane ou en alliage de titane comprenant la fabrication d'une aube semi-finie avec une surépaisseur et l'élimination de ladite surépaisseur comprenant au moins une étape de polissage en aspect final selon la revendication 1, dont la surépaisseur avant élimination est déterminée de manière à permettre l'enlèvement de matière pendant une opération de polissage premier aspect compris entre 0,1 mm et 0,8 mm d'épaisseur, de préférence entre 0,2 mm et 0,4 mm et plus particulièrement de 0,3 mm +/- 0,05 mm.
6. Procédé selon la revendication précédente, dont l'élimination de ladite surépaisseur est réalisée par polissage de premier aspect au moyen d'une bande diamant ou en nitrure de bore cubique.

Claims

1. Automated polishing process for semi-finished mechanical parts in titanium or titanium alloy using a machine with an abrasive belt mounted on a tangential contact wheel driven in rotation at determined speed and applied at a determined pressure, the wheel travelling with respect to the part surface at a determined rate, **characterized by** the fact that the abrasive belt consists of superabrasive grains in industrial diamond or cubic boron nitride for finish polishing and removal of allowance lies between 0.01 mm and 0.2 mm, and is preferably 0.1 mm.
2. Process as in the preceding claim for polishing turbomachine blades having a determined allowance, whose machine parameters are fixed at the following intervals:
- Wheel application force on the part surface: 137N to 196N.

- Pass speed of the belt: 4.6 m/s to 18.6 m/s.
- Range of wheel travel speed relative to the part: 3.4 m/min to 6.7 m/min.

3. Process as in the preceding claim whose allowance lies between 1/10 mm and 8/10 mm, preferably between 0.2 and 0.4 mm for rough polishing.
4. Process as in any of the preceding claims whose contact wheel is grooved.
5. Process for fabricating jet engine blades in titanium or titanium alloy comprising the fabrication of a semi-finished blade having an allowance and the removal of said allowance comprising at least one finish polishing step as in claim 1, whose allowance before removal is determined so as to allow removal of material during a rough polishing operation of between 0.1 mm and 0.8 mm thickness, preferably between 0.2 mm and 0.4 mm and further preferably of 0.3 mm +/- 0.05 mm.
6. Process as in the preceding claim, whose removal of said allowance is made by rough polishing using a diamond or cubic boron nitride belt.

Patentansprüche

1. Automatisiertes Polierverfahren zum Polieren halbfertiger mechanischer Werkstücke aus Titan oder Titanlegierung mittels einer Maschine mit einem Schleifband, das auf einem Rad mit tangentialen Kontakt sitzt, welches mit einer bestimmten Geschwindigkeit in Drehbewegung angetrieben wird und mit einem bestimmten Druck angedrückt wird, wobei das Rad zur Oberfläche des Werkstücks mit einer bestimmten Geschwindigkeit verschoben wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schleifband mit Superschleifkörnern aus Industriediamant oder aus kubischem Bornitrid für ein Endpolieren und zum Abheben einer Überdicke von 0,01 mm bis 0.2 mm, vorzugsweise von 0,1 mm gebildet ist.
2. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch zum Polieren von Turbomaschinenschaufeln, die eine bestimmte Überdicke aufweisen, wobei die Maschinenparameter in den folgenden Intervallen festgesetzt sind:
- Andruckkraft des Rades auf der Oberfläche des Werkstücks : 137N bis 196N.
 - Laufgeschwindigkeit des Schleifbandes : 4,6 m/s bis 18,6 m/s.
 - Vorschubbereich des Rades relativ zu dem Werkstück : 3,4 m/min bis 6,7 m/min.

3. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, bei dem die Überdicke für ein erstes Polieren zwischen 1/10 mm und 8/10 mm beträgt, vorzugsweise zwischen 0,2 mm und 0,4 mm.
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das Kontaktrad gerillt ist.
5. Verfahren zur Herstellung von Turbotriebwerkschaufeln aus Titan oder Titanlegierung, das die Fertigung einer halbfertigen Schaufel mit einer Überdicke und die Beseitigung dieser Überdicke beinhaltet, und das mindestens einen Verfahrensschritt des Endpolierens nach Anspruch 1 umfasst, wobei die Überdicke vor Beseitigung dergestalt bestimmt ist, dass während eines ersten Poliervorgangs das Materialabheben von 0,2 mm bis 0,4 mm und insbesondere von 0,3 mm +/- 0,05 mm ermöglicht ist.
6. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, bei dem die Beseitigung dieser Überdicke durch ein erstes Polieren mittels eines Diamantbandes oder Bandes mit kubischem Bornitrid durchgeführt wird.

5

10

15

20

25

30

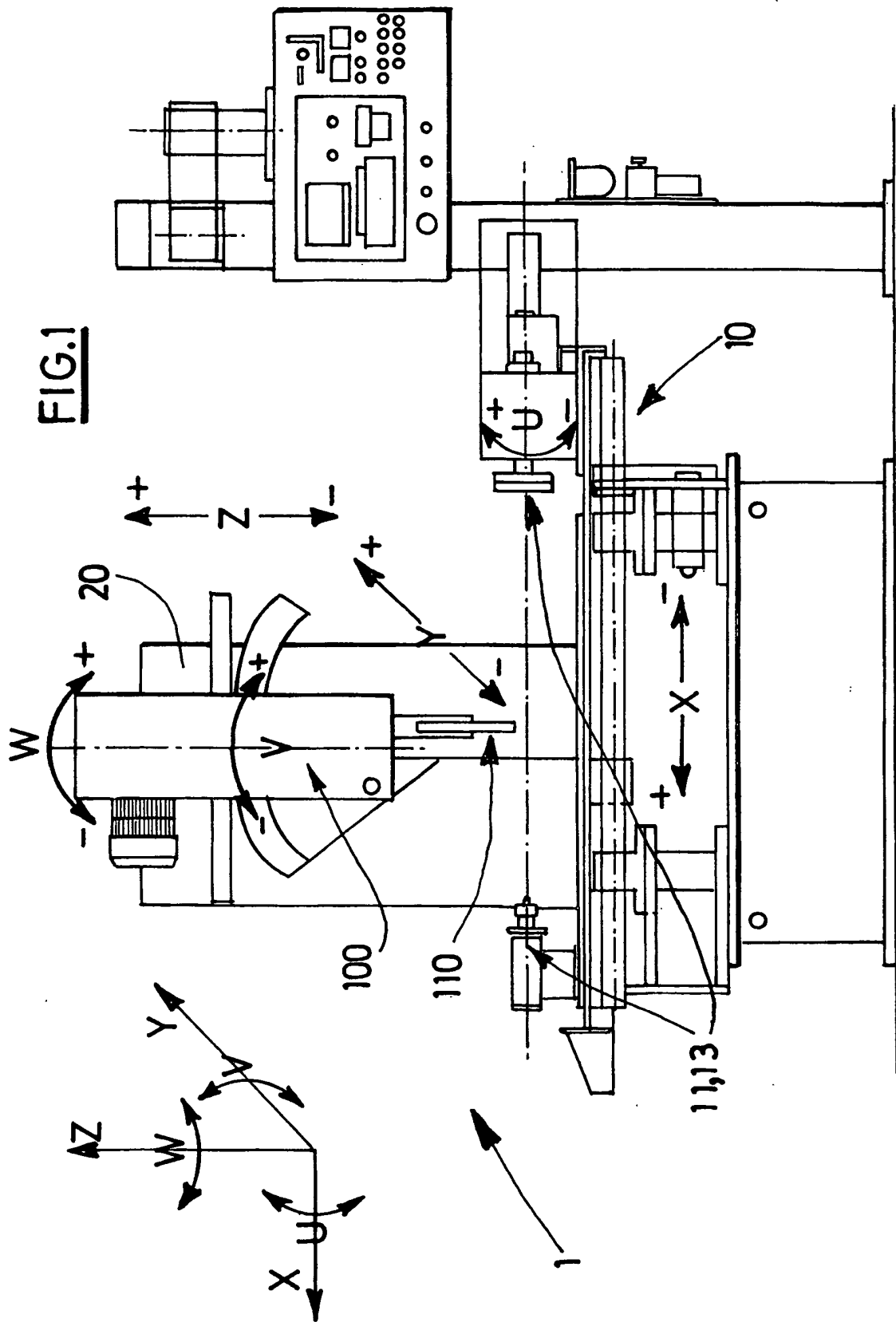
35

40

45

50

55



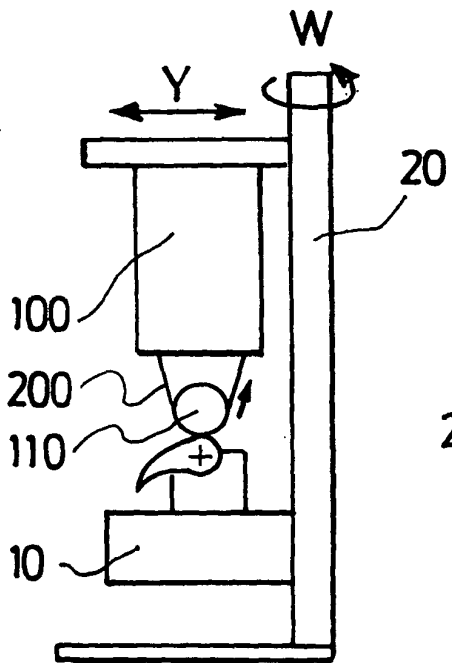


FIG. 2

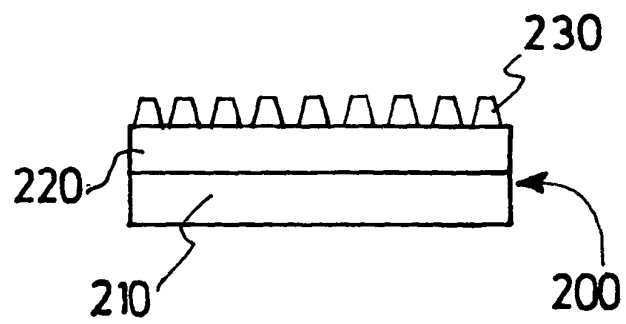


FIG. 3

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 5193314 A [0003]