

OFFICE NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE.

BREVET D'INVENTION.

XII. — Instruments de précision, électricité.

3. — POIDS ET MESURES, INSTRUMENTS DE MATHÉMATIQUES, COMPTEURS
ET PROCÉDÉS D'ESSAI.

N° 541.113

Procédé et appareil pour équilibrer les pièces tournantes des machines.

M. NIKOLA TESLA résidant aux États-Unis d'Amérique.

Demandé le 15 septembre 1921, à 14^h 34^m, à Paris.

Délivré le 27 avril 1922. — Publié le 22 juillet 1922.

(Demande de brevet déposée en Angleterre le 2 septembre 1921. — Déclaration du déposant.)

Dans le fonctionnement des machines, l'équilibrage soigné des organes tournants est d'une grande importance économique, car des sommes considérables d'argent sont annuellement dépensées par suite des déficiences dues au manque d'équilibrage, d'où résultent des pertes de force, une usure anormale, des interruptions dans le service et des accidents plus ou moins graves.

10 Avant le développement des machines modernes à grande vitesse, l'équilibrage statique était entièrement employé et encore maintenant c'est fréquemment le cas. La tendance croissante dans le sens des grandes vitesses a
15 nécessité un équilibrage dynamique et on a proposé divers genres d'appareils pour atteindre ce but.

Le procédé faisant l'objet de l'invention permet d'atteindre ce but rapidement et avec
20 un haut degré de précision. En résumé il consiste à faire tourner à une vitesse convenable la pièce à équilibrer supportée élastiquement et à enlever l'excès de matière du côté le plus lourd par rodage jusqu'à obtention du degré
25 désiré de perfection d'équilibrage.

Comme moyens d'exécution de l'invention on emploie une meule, des jets de sable ou d'autres substances de rodage. On doit évidemment objecter que le contact d'une meule
30 à émeri ou en carborundum avec la partie

d'une machine tournant rapidement est susceptible de produire des chocs et des vibrations dangereuses et également que le rodage à des vitesses beaucoup plus élevées que cela ne se pratique ordinairement ne peut pas donner
35 satisfaction. Mais bien que ces considérations théoriques paraissent fondées, on n'a toutefois pas trouvé de difficultés dans leur application suivant les données de l'invention et il
40 en a été fait usage avec la plus grande facilité et le plus grand succès. On l'attribue à l'inertie du corps tournant qui le rend insensible aux perturbations asynchrones que la meule peut produire. Néanmoins dans certains cas
45 il peut être plus avantageux ou préférable d'effectuer l'enlèvement de l'excès de matière par un jet très rapide de substances rodantes, jet qui est dirigé tangentiellement sur la surface à équilibrer. Pour obtenir les meilleurs
50 résultats, il est essentiel que la pièce à équilibrer mise en rotation puisse subir un déplacement appréciable de son centre de gravité par rapport à son axe de symétrie. Ceci est
55 obtenu en montant cette pièce sur un arbre de flexibilité convenable ou porté dans les paliers élastiques, si toutefois l'arbre sur lequel est
60 monté la pièce à équilibrer n'est pas lui-même suffisamment élastique. Il est en outre de grande importance pour éviter les vibrations nuisibles à la bonne application du procédé

Prix du fascicule : 1 franc.

que la vitesse à laquelle le rodage est effectué soit en rapport avec la vitesse critique correspondante à la vibration naturelle fondamentale. On observera la règle suivante : si le système repose sur deux paliers la vitesse de rodage sera un multiple ou sous-multiple impair de la vitesse critique. Si d'autre part, l'arbre portant la pièce à roder est supporté d'un seul côté, la vitesse sera un multiple ou sous-multiple pair de la vitesse critique.

Lorsque la pièce à équilibrer a pris la vitesse convenable, on amène la meule de rodage en contact avec la périphérie ou tout autre partie de la pièce à roder. En cours d'action, la flexion de l'arbre diminue jusqu'à ce que finalement le centre de symétrie du système coïncide avec son centre de gravité ou sensiblement. Un opérateur compétent peut s'en rendre compte de différentes manières sans l'emploi de moyens spéciaux, mais on peut utiliser dans ce but des appareils dont les indications sont perçues par les yeux ou l'oreille.

Avant l'application du procédé il est bon de faire tourner la pièce à équilibrer à une vitesse très faible et de la vérifier avec la meule. S'il existe une flexion appréciable de l'arbre lorsque le système repose horizontalement, le rodage peut être fait dans la position verticale qu'il occupe en équilibré statique. Une pièce qui doit être employée avec un arbre rigide, peut être montée sur un autre arbre suffisamment flexible, et comme il existe des limites dans la précision d'ajustage d'un manchon cylindrique, on peut employer un manchon conique pour assurer une plus grande précision. Toutefois on peut obtenir des résultats satisfaisants en munissant l'arbre rigide de prolongements flexibles ou bien en le montant dans des paliers avec supports élastiques. Dans tous les cas, il est désirable de graisser avec un lubrifiant d'une viscosité considérable. Lorsque les pièces à équilibrer doivent tourner dans un milieu à haute température on peut les renfermer dans une enveloppe où on maintient une température équivalente et on ménage une ouverture pour le passage de la meule ou du jet qui doit faire le rodage.

L'invention sera clairement comprise en se référant aux dessins annexés montrant un moyen d'exécution de l'appareil que l'on a trouvé pour l'équilibrage rapide et convenable des pièces de machines par exemple des rotors

des turbines à vapeur et à gaz du système Tesla. La fig. 1 montre le dispositif général du système qui comprend une boîte-enveloppe avec une ouverture sur un côté, un moteur pour faire tourner la meule, un tachymètre permettant de se rendre compte à chaque moment de la vitesse, un appareil pour permettre de voir continuellement le degré de précision obtenu et un appareil réchauffeur pour avoir la température désirée.

La fig. 2 est une coupe à travers la boîte dans le plan du disque rotor montrant l'ouverture et également la tuyère de la turbine.

La fig. 3 est une vue des parties essentielles de l'instrument indicateur d'équilibrage.

La fig. 4 montre la manière d'appliquer le jet de rodage suivant les données de l'invention.

En se référant d'abord particulièrement à la première figure, 1 indique la boîte renfermant le rotor à équilibrer qui est mis en rotation par de l'air comprimé ou de la vapeur et cette boîte porte une ouverture 2 pour permettre le passage de la meule 3 qui est en contact avec les surfaces à roder. On peut employer tout moteur convenable pour actionner la meule mais de préférence on emploie un moteur électrique en montant directement la meule sur l'arbre d'un moteur 4 monté sur un chariot 5 qui glisse sur les rails 6, 6 et ce moteur comporte les moyens convenables 7 et 8 pour le déplacer dans le sens de son axe et perpendiculairement à cet axe.

Comme montré sur la fig. 2 la boîte-enveloppe se compose de deux parties 9 et 10 réunies dans leur plan médian horizontal au moyen de surfaces dressées avec soin pour bien assurer leur assemblage et leur déplacement latéral est empêché au moyen de goujons 11, 11 encastrés dans les parties 9 ou 10 de l'enveloppe. D'un côté, les deux parties de la boîte sont prolongées de façon à constituer une cavité cylindrique dans laquelle est ajusté avec soin un cylindre creux 13 comportant une tuyère 14 et un orifice d'admission 15 directement connecté avec le tuyau d'alimentation 16 muni d'une valve de commande. L'ouverture 2 pour donner passage à la meule 3 est indiquée comme étant en communication avec l'extérieur, mais dans certains cas on introduit la meule par un élargissement sem-

blable situé du côté droit ce qui est souvent avantageux lorsqu'on équilibre un rotor dans sa propre enveloppe.

En se référant de nouveau à la fig. 1 les 5 paliers 17 et 18 sont aussi divisés horizontalement dans le plan de jonction des deux parties 9 et 16 de la boîte et ils peuvent faire corps avec ces parties pour éviter une perte de temps et de travail. Les parties inférieures 10 des paliers sont munies de tuyaux 19 et 20 d'adduction et d'écoulement de lubrifiant. Le tuyau d'alimentation 16 est indiqué comme étant connecté à un serpentin 21 d'un réchauffeur 22 muni d'une valve pour contrôler 15 l'écoulement du fluide réchauffant et ce réchauffeur peut avoir toutes formes appropriées. Une vis avec roue hélicoïdale 23 est montée à l'extrémité de l'arbre du rotor pour actionner le tachymètre 24 au moyen d'une 20 connection flexible, ce système peut être quelconque mais on a trouvé avantageux d'employer un type à friction à air. Sur l'autre extrémité de l'arbre est monté l'indicateur d'équilibrage 25, montré en détail fig. 3. Cet 25 indicateur est constitué par une pièce 26 avec aiguille 27 dans le haut et un poids réglable 28 dans le bas. Cet indicateur est monté sur le chemin de roulement extérieur 29 d'un palier à billes 30, dont le chemin de 30 roulement intérieur est fixé à l'arbre et suit ses oscillations, le degré d'oscillation de l'aiguille étant déterminé par la position du contrepoids. Une échelle graduée 32 est fixée à la partie fixe de l'instrument qui est placé pour 35 être facilement observé par l'opérateur.

Le même appareil peut être employé en supprimant toutefois la meule 3, avec le dispositif indiqué schématiquement sur la fig. 4. Une tuyère 32 projette un jet 33 de matière 40 rodante tangentiellement sur la pièce 34 à équilibrer et qui est montée sur un arbre flexible 35. Dans ce cas la tuyère est montée sur un chariot 5 pour pouvoir la régler dans deux directions.

45 L'équilibrage se fait comme suit : le rotor étant en position pour le rodage, la boîte enveloppe 9 et les chapeaux des paliers 17 et 18 sont mis en place, le lubrifiant est envoyé sous pression par les tuyaux 19 et 20 et le 50 fluide moteur ou air comprimé est admis par la tuyère 14, sa quantité et sa température étant réglées respectivement par les valves du

tuyau d'alimentation 16 et du réchauffeur 22. Le fluide en traversant le rotor et en s'échappant par le bas de la boîte lui imprime un 55 mouvement de rotation et l'amène à la vitesse désirée contrôlée par la lecture faite sur le tachymètre 24. La meule de rodage 3 est maintenant mise en contact avec le rotor et on note sur l'échelle graduée l'indication de 60 l'instrument d'équilibrage. Au départ l'oscillation de l'aiguille est généralement considérable en raison de ce que une vibration de l'arbre, même légère, augmente grandement la pression sur les billes et en conséquence la 65 torsion sur l'instrument. En même temps que l'équilibrage s'améliore, l'effort de torsion diminue jusqu'à ce que finalement l'aiguille atteint le zéro de l'échelle indiquant qu'on a obtenu le degré désiré de perfection d'équili- 70 brage. Comme vérification l'opérateur peut alors faire tourner le moteur à environ la vitesse critique. Cela ne donnera lieu à aucune vibration appréciable et n'influencera par l'indicateur d'équilibrage qui au lieu de porter 75 un poids peut être muni d'un ressort pour produire la pression désirée sur l'anneau de billes et faire opposition à la torsion.

Lorsque on a à équilibrer des pièces que l'on ne peut pas mettre en rotation de la ma- 80 nière indiquée, le mouvement de rotation leur sera communiqué indépendamment par courroies, électricité ou de toute autre manière en prenant soin que l'appareil ne soit pas troublé par d'autres vibrations qui lui seraient com- 85 muniquées. Afin de conserver intact le contour périphérique si cela est essentiel, on rode le corps à un autre endroit et quand c'est désirable, dans ce but on dispose spécialement pour cela le modèle et la construction de la 90 pièce.

On a trouvé que le procédé était d'une grande valeur pour l'équilibrage des rotors à grande vitesse des turbines à gaz et à vapeur, mais il a été employé avec succès dans une 95 grande variété de cas et l'invention n'est pas limitée à un genre quelconque d'appareils.

RÉSUMÉ.

L'invention a pour objet un procédé pour l'équilibrage des pièces tournantes des ma- 100 chines et un appareil pour la mise en application.

Elle présente les particularités suivantes

considérées séparément ou en combinaison :

1° Le procédé pour équilibrer une pièce qui consiste à la faire tourner sur des supports élastiques et à enlever la matière en excès par rodage jusqu'à ce que l'équilibrage soit obtenu.

2° L'équilibrage de la pièce en la montant sur un arbre flexible et en la faisant tourner dans les conditions normales où elle doit travailler.

3° L'équilibrage de la pièce en la faisant tourner sur un arbre flexible convenable porté sur deux paliers, à une vitesse qui est un multiple ou sous-multiple impair de la vitesse critique et en enlevant par rodage la matière en excès.

4° L'équilibrage de la pièce en la montant sur un arbre flexible supporté seulement d'un côté et en la faisant tourner à une vitesse multiple ou sous-multiple pair de la vitesse critique et en enlevant par rodage la matière en excès.

5° L'instrument pour indiquer l'intensité de vibration comprenant un palier à billes ayant un de ses chemins de roulement fixé à l'arbre tournant et portant sur l'autre chemin de roulement une aiguille avec contre-poids.

NIKOLA TESLA.

Par procuration :

LOUIS TAILFER.

