

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 80 21332

⑮ Interféromètre pour contrôler la forme des surfaces convexes de pièces optiques.

⑯ Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 B 9/02, 11/24.

⑰ Date de dépôt..... 6 octobre 1980.

⑳ ㉓ ㉒ ㉑ Priorité revendiquée :

㉔ Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 14 du 9-4-1982.

㉕ Déposant : VYSSHEE TEKHNICHESKÛE UCHILISCHE IMENI N. E. BAUMANA, résidant en
URSS.

㉖ Invention de : Daniil Trofimovich Puryaev.

㉗ Titulaire : *Idem* ㉕

㉘ Mandataire : Cabinet Z. Weinstein,
20, av. de Friedland, 75008 Paris.

La présente invention concerne les dispositifs pour le contrôle de pièces optiques et a notamment pour objet un interféromètre pour contrôler la forme des surfaces sphériques de pièces optiques de grands diamètres (allant jusqu'à 600 mm), par exemple celles des lentilles d'objec-
5 tifs photographiques de grande clarté, à longue focale.

On connaît des interféromètres pour le contrôle de la forme des surfaces sphériques convexes des lentilles, basés sur l'utilisation de verres d'essai et de compen-
10 sateurs (de correcteurs de zéro). Les verres d'essai ne permettent pas de vérifier une surface au cours d'une opération unique, car le diamètre du verre d'essai est de beaucoup inférieur au diamètre de la surface à contrôler, tandis que l'application réitérée du verre d'essai sur la
15 surface à contrôler exige beaucoup de temps. D'autre part, le contact du verre d'essai avec la surface à contrôler exige une préparation sérieuse de celle-ci pour la réalisation du contrôle.

Lorsque le rayon de la surface est modifié pour des
20 raisons technologiques, on doit préparer un nouveau verre d'essai, ce qui accroît le coût du contrôle.

On connaît également des interféromètres dans lesquels on utilise des compensateurs au moyen desquels le front d'une onde plane ou sphérique est transformé en front d'onde
25 de forme nécessaire.

Dans ces interféromètres, le problème du contrôle est d'obtenir une information sur les erreurs de la surface contrôlée simultanément dans toutes ses zones et non seulement sur certaines parties. Ce problème est résolu à
30 l'aide d'un compensateur calculé de manière à orienter les rayons de lumière en faisceau homocentrique, dont le sommet coïncide avec le centre de la surface sphérique convexe à contrôler. Si cette dernière appartient à une lentille, le compensateur doit être calculé en tenant compte de l'action
35 de l'autre surface de la lentille sur le trajet des rayons pour contrôler la surface convexe comme on contrôle une

surface concave à partir du centre de convexité. Ceci exige l'application d'un grand nombre de compensateurs à destination individuelle, car chacun d'eux n'est utilisable que pour le contrôle d'une lentille de configuration strictement déterminée.

5 Lorsque la surface à contrôler appartient à une pièce optique réalisée en matériau opaque, l'interféromètre basé sur un compensateur devient en principe inutilisable pour le contrôle des surfaces convexes au moyen de rayons allant à l'intérieur du matériau de la pièce optique.

10 On connaît également un interféromètre prévu pour contrôler la forme des surfaces sphériques convexes des pièces optiques, comportant une source de lumière monochromatique et, disposés en série avec elle sur le trajet des rayons, un objectif de focalisation, un diviseur de lumière, un compensateur, un système de lentilles, dont la dernière surface postérieure par rapport à la marche des rayons est une surface étalon sphérique concave, dont le centre de convexité est raccordé optiquement au moyen d'un compensateur au foyer arrière de l'objectif de focalisation, et un système d'enregistrement de l'image d'interférence.

15 Un tel interféromètre permet de contrôler les surfaces sphériques convexes des pièces optiques de diamètre relativement faible (inférieur à 100-150 mm) et avec un rapport déterminé D/R , D étant le diamètre et R le rayon de la surface contrôlée.

20 L'application de l'interféromètre connu est rendue difficile pour le contrôle des surfaces sphériques convexes de grand diamètre (de l'ordre de 500-600 mm) avec un autre rapport D/R , car ceci exige le remplacement du système de lentilles à surface étalon et des opérations d'ajustage laborieuses, d'autre part, les cotes d'encombrement de l'interféromètre construit selon le schéma connu augmentent outre mesure.

30 La présente invention a pour but de créer un interféromètre pour le contrôle de la forme des surfaces convexes des pièces optiques permettant de réaliser un contrôle

de haute qualité des surfaces soit de grand diamètre (~ 600 mm), soit de faible diamètre (~ 100 mm), pour divers rapports D/R, et ne faisant pas appel à des opérations d'ajustage exigeant une main d'oeuvre importante, possédant des cotes d'encombrement relativement faibles.

Ce problème est résolu du fait que l'interféromètre pour le contrôle de la forme des surfaces convexes de pièces optiques, comportant une source de lumière monochromatique et, disposées en série en aval de cette source sur le trajet des rayons, un objectif de focalisation, un diviseur de lumière, un compensateur, un système de lentilles, dont la dernière surface sur le trajet des rayons est une surface étalon concave sphérique avec un centre de convexité relié optiquement, au moyen du compensateur, au foyer arrière de l'objectif de focalisation, et un système pour l'enregistrement de l'image d'interférence, qui survient lorsque les rayons sont réfléchis par la surface étalon, caractérisé selon l'invention, en ce que, au-delà du système de lentilles, sur le trajet des rayons, suivant son axe optique, sont installés successivement un compensateur supplémentaire, un diviseur de lumière supplémentaire, un objectif de focalisation supplémentaire, un système de miroirs pour diriger les rayons provenant de la source de lumière monochromatique vers l'objectif de focalisation supplémentaire, dont le foyer arrière est raccordé optiquement, au moyen du compensateur supplémentaire, au centre de convexité de la première (en comptant à partir de la source de lumière monochromatique sur le trajet des rayons) surface du système de lentilles, qui est également une surface étalon concave sphérique, avec un rayon de convexité différent du rayon de convexité de la dernière surface étalon, et un système supplémentaire pour l'enregistrement de l'image d'interférence, qui apparaît lors de la réflexion des rayons par la première surface étalon du système de lentilles.

Il est également avantageux, dans un tel interféromètre, que le système de lentilles soit réalisé avec deux ménisques et deux lentilles plan-convexes disposées entre eux et dirigées par leurs surfaces planes vers les surfaces convexes des ménisques.

Pour le contrôle des surfaces convexes sphériques à faible rapport D/R. Le système de lentilles est de préférence réalisé avec deux lentilles ménisques positives et une lentille biconvexe disposée entre elles.

Pour contrôler les surfaces sphériques convexes avec un haut rapport D/R, le système de lentilles peut être constitué de deux ménisques positifs, la surface convexe d'au moins l'un de ceux-ci étant sphérique et remplissant le rôle d'un compensateur principal et d'un compensateur supplémentaire .

L'interféromètre réalisé selon la présente invention permet de contrôler les surfaces sphériques convexes des pièces optiques de grand diamètre avec deux gammes de valeurs maximales D/R, dans ce cas, il n'est pas obligatoire d'introduire des modifications dans la construction de l'interféromètre, de procéder à un ajustage supplémentaire de ses ensembles, de remplacer certaines pièces lors du contrôle des surfaces avec différentes valeurs du rapport D/R.

Toutes les pièces de l'interféromètre occupent une position stable et forment des ensembles optiques compacts, qui peuvent être aisément disposés sur un banc optique, et qui, pour le transport, peuvent être aisément répartis en blocs séparés.

Dans l'interféromètre selon l'invention, le passage d'une gamme de valeurs de D/R des surfaces à contrôler à une autre gamme est effectué très simplement, en modifiant le système de miroirs pour diriger les rayons vers l'objectif supplémentaire, il n'est pas non plus nécessaire, alors, de procéder à un ajustage

supplémentaire de l'interféromètre.

L'emploi simultané, dans le système optique de l'interféromètre, de deux surfaces étalons concaves sphériques avec des rapports D/R différents est plus
5 raisonnable au point de vue économique, que l'utilisation de deux interféromètres connus, comportant également de telles surfaces étalons, ou d'un seul interféromètre connu, dans lequel on utilise des lentilles changeables avec de telles surfaces étalons.

10 L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails et avantages de celle-ci apparaîtront mieux à la lumière de la description explicative qui va suivre de différents modes de réalisation donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs, avec référence au dessin unique
15 non limitatif annexé dans lequel :

- la figure 1 représente le schéma optique de l'interféromètre et le trajet des rayons lors du contrôle des surfaces convexes pour l'une des gammes de rapports D/R ;

20 - la figure 2 représente le même schéma optique que sur la figure 1 et le trajet des rayons lors du contrôle des surfaces convexes pour une autre gamme de rapports D/R ;

- la figure 3 illustre une variante de réalisation d'un système de lentilles convenant pour le contrôle des
25 surfaces sphériques convexes avec un faible rapport D/R ;

- la figure 4 illustre une variante de réalisation d'un système de lentilles convenant pour le contrôle des surfaces sphériques convexes avec un rapport D/R élevé.

L'interféromètre selon l'invention comporte une
30 source monochromatique 1 (figure 1) de lumière, qui est un laser hélium-néon, dont le miroir pivotant 2 peut occuper les positions I et II, un objectif de focalisation 3 dont le rôle peut être rempli par un microobjectif, à trajet télécentrique des rayons. L'objectif de focalisation 3 capte
35 les rayons réfléchis par le miroir 2 à partir de la source de lumière 1 et forme une source ponctuelle de lumière se

se situant dans le foyer arrière F_1 de l'objectif 3.

En aval de l'objectif 3, sur le trajet des rayons, se trouve un diviseur de lumière 4, réalisé, par exemple, sous la forme d'un petit cube avec une face semi-transparente, qui écarte les rayons de lumière vers le compensateur 5
5 réalisé sous forme d'une lentille unique ou d'un groupe de lentilles.

L'axe optique du compensateur 5 est raccordé à l'axe optique de l'objectif 3 à l'aide du diviseur de lumière 4.
10 En aval du compensateur 5, sur son axe optique, se trouve le système de lentilles 6 composé de lentilles 7, 8, 9 et 10. La dernière surface A du système de lentilles 6 est une surface étalon concave sphérique et son centre de convexité est accouplé optiquement au foyer arrière F_1 de l'objectif
15 3 à l'aide du compensateur 5. La première surface B sur le trajet des rayons du système de lentilles 6 est également une surface étalon concave sphérique, mais son rayon de convexité diffère sensiblement du rayon de convexité de la surface A.

20 Le système d'enregistrement 11, disposé sur l'axe optique du système de lentilles et le compensateur 5 situé en aval du diviseur de lumière 4, sont prévus pour enregistrer l'image d'interférence, qui apparait au cours du contrôle, lors de la réflexion des rayons par la surface A.
25 Le système d'enregistrement 11 peut comprendre, comme représenté, par exemple, sur la figure 1, un objectif photographique 12 et une couche photosensible 13.

En aval du système de lentilles 6, sur le trajet des rayons, se trouve (figure 1) une pièce optique 14 dont la
30 surface à contrôler 15 est disposée de manière que son centre de convexité coïncide avec le centre de convexité de la surface étalon A.

En aval du système de lentilles 6, sur son axe optique, se trouvent un compensateur supplémentaire 16 et
35 un diviseur de lumière supplémentaire 17, à l'aide duquel l'axe optique du compensateur 16 est raccordé à l'axe de l'objectif de focalisation supplémentaire 18. Le foyer

arrière F_2 de l'objectif 18, à l'aide du compensateur 16, est accouplé optiquement au centre de convexité de la surface étalon concave sphérique B du système de lentilles 6.

5 En aval du diviseur de lumière 17, sur l'axe optique du système de lentilles 6, se trouve un système complémentaire pour l'enregistrement de l'image d'interférence, qui apparaît au cours du contrôle, lorsque les rayons sont réfléchis par la surface étalon concave sphérique B.

10 D'autre part, pour diriger les rayons sur l'objectif 18, est prévu un miroir fixe plan 20 (ou un groupe de miroirs) formant avec le miroir pivotant 2 un système de miroirs pour diriger les rayons provenant de la source de lumière 1 vers l'objectif de focalisation supplémentaire 18.

15 La figure 2 représente le schéma optique du même interféromètre que sur la figure 1, avec cette différence que la pièce optique 21 est disposée entre le compensateur 5 et le système de lentilles 6 et que la surface à contrôler 22 de la pièce 21 est placée de manière que le centre de convexité de la surface 22 coïncide avec le centre de convexité de la surface B.

20 Les figures 1 et 2 représentent le système de lentilles 6, qui se compose de deux ménisques positifs 7 et 10 et de deux lentilles plan-convexes 8 et 9 disposées entre les premiers. Les surfaces convexes des lentilles 7 et 10 sont dirigées vers les surfaces planes des ménisques 8 et 9.

25 La figure 3 représente une variante du système de lentilles 6', qui se compose de deux ménisques positifs 23 et 24 et d'une lentille biconvexe 25 disposée entre eux. Les surfaces concaves A et B respectives des lentilles 24 et 23 sont des surfaces étalons sphériques.

30 Sur la figure 4 est représentée une variante du système de lentilles 6'', constitué de deux ménisques positifs 26 et 27 à surfaces respectives B et A qui sont des surfaces étalons sphériques concaves. Au moins l'une des surfaces sphériques convexes 28 ou 29, dans l'exemple

35

donné, la surface 28, est réalisée asphérique et, en combinaison avec la surface sphérique 29, joue le rôle des compensateurs principal 5 et supplémentaire 16 (figure 1). Dans ce cas, ces derniers sont exclus de l'interféromètre et le système de lentilles 6" (figure 4) est placé entre les diviseurs de lumière 4 et 17 (figures 1 et 2). Alors la liaison optique entre le foyer arrière F_1 de l'objectif 3 et le centre de convexité de la surface 1 et du foyer arrière F_2 de l'objectif 18 avec le centre de convexité de la surface B est assurée par les formes des surfaces 29 et 28 .

L'interféromètre selon l'invention fonctionne de la façon suivante.

On peut réaliser le contrôle de la forme des surfaces convexes des pièces optiques pour deux gammes différentes de rapports D/R.

Pour le contrôle dans l'une des gammes de rapports D/R, le miroir plan pivotant 2 (figure 1) est amené en position 1. Les rayons sortant de la source de lumière monochromatique 1 arrivent au miroir plan 2 et sont dirigés par lui vers l'objectif de focalisation 3. Le trajet des rayons est représenté par des flèches sur la figure 1. Après ,avoir traversé consécutivement le diviseur de lumière 4, le compensateur 5 et les lentilles 7, 8, 9 et 10, les rayons de lumière tombant normalement sur la surface 1 sont partiellement réfléchis par cette dernière et passent partiellement à travers elle en tombant normalement sur la surface à contrôler 15. Alors les rayons de lumière réfléchis par les surfaces A et 15 interfèrent entre eux et forment l'image d'interférence qui est enregistrée par le système 11 prévu à cet effet. Le traitement ultérieur de l'image d'interférence dans le but de déceler les erreurs de forme de la surface contrôlée 15 est effectué selon les méthodes traditionnelles, qui ne seront pas décrites ici.

Pour réaliser le contrôle dans l'autre gamme, le

miroir plan 2 (figure 2) est placé en position II.

Les rayons provenant de la source monochromatique 1 de lumière sont réfléchis par le miroir 20 et arrivent dans l'objectif de focalisation supplémentaire 18, et après 5 avoir traversé consécutivement le diviseur de lumière supplémentaire 17, le compensateur supplémentaire 16 et les lentilles 10-7, arrivent normalement sur la surface étalon B. Les rayons de lumière réfléchis par la surface B et la surface à contrôler 22 de la pièce optique 21 interfèrent 10 entre eux en formant une image d'interférence qui est enregistrée par le système supplémentaire d'enregistrement 19.

Les surfaces étalons concaves A et B appartenant respectivement aux lentilles 10 et 7 (figures 1 et 2) 15 possèdent des diamètres lumineux à peu près identiques, mais des rayons de convexités différant sensiblement, dont le rapport entre eux est à peu près égal à 1: 2,5. Ceci permet d'utiliser les surfaces étalons A et B pour le contrôle des surfaces sphériques convexes avec des rapports 20 D/R différents.

Le système de lentilles 6 (figures 1 et 2) trouve son application rationnelle pour le contrôle des surfaces convexes sphériques avec deux gammes des rapports D/R se situant environ dans l'intervalle 0,2-0,6.

25 Pour le contrôle des surfaces convexes sphériques avec un rapport D/R plus important, de l'ordre de 0,7 et plus, il est plus rationnel d'utiliser le système de lentilles 6", représenté sur la figure 4.

Pour le contrôle des surfaces sphériques convexes à 30 faible rapport D/R, de l'ordre de 0,05 et moins, il est avantageux d'utiliser le système de lentilles 6' représenté sur la figure 3.

Le fonctionnement de l'interféromètre avec le système de lentilles 6' (figure 3) ou avec le système de lentilles 35 6" (figure 4) est analogue au fonctionnement de l'interféromètre représenté sur les figures 1, 2.

Les système de lentilles 6, 6', 6" représentés sur les figures 1 à 4, représentent des systèmes optiques distincts, dont les diamètres en pratique ne dépassent pas les diamètres des surfaces à contrôler, d'autre part l'épaisseur totale des lentilles et des intervalles d'air est sensiblement inférieure au diamètre du système de lentilles. Les autres ensembles de l'interféromètre sont beaucoup plus compacts que le système de lentilles ce qui permet le montage rapide de l'interféromètre sur un banc optique.

10 La variante de l'interféromètre correspondant aux figures 1 et 2 permet de contrôler les surfaces convexes sphériques de diamètre allant jusqu'à 600 mm avec deux gammes de rapports D/R égaux à environ 0,6 et 0,24. Le système optique d'un tel interféromètre assure la formation d'un front d'onde sphérique arrivant sur les surfaces A et B ; par ailleurs l'écart du front d'onde par rapport à une sphère dans le plus mauvais cas ne dépasse pas λ c'est-à-dire la longueur d'onde de la source de lumière 1. La réalisation des surfaces étalons sphériques convexes A et B du système de lentilles 6 ne soulève aucune difficulté, ce qui assure une précision de contrôle non inférieure à $\lambda/10$, et le contrôle tenant compte des propres erreurs des surfaces étalons sphériques assure une précision non inférieure à $\lambda/20$.

25 L'interféromètre permet de contrôler les surfaces convexes sphériques des lentilles des objectifs à longueur focale et grande clarté, le plus souvent rencontrés en pratique.

Bien entendu l'invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et représentés qui n'ont été donnés qu'à titre d'exemple. En particulier, elle comprend tous les moyens constituant des équivalents techniques des moyens décrits, ainsi que leurs combinaisons si celles-ci sont exécutées suivant son esprit et mises en oeuvre dans le cadre de la protection comme revendiquée.

R E V E N D I C A T I O N S

1. Interféromètre pour contrôler les surfaces convexes de pièces optiques du type comportant une source de lumière monochromatique, et, disposées en série en aval de cette source, sur le trajet des rayons, un
5 objectif de focalisation, un diviseur de lumière, un compensateur, un système de lentilles, dont la dernière surface sur le trajet des rayons est une surface étalon concave sphérique avec un centre de convexité raccordé optiquement, au moyen du compensateur, au foyer arrière
10 de l'objectif de focalisation, et un système pour l'enregistrement de l'image d'interférence, qui apparaît lorsque les rayons sont réfléchis par la surface étalon, caractérisé en ce qu'en aval du système de lentilles (6), sur le trajet des rayons, suivant l'axe optique, sont
15 installés successivement un compensateur supplémentaire (16), un diviseur de lumière supplémentaire (17), un objectif de focalisation supplémentaire (18), un système de miroirs pour diriger les rayons provenant de la source de lumière monochromatique (1), vers l'objectif de
20 focalisation supplémentaire (18), dont le foyer arrière (F_2) est relié optiquement, par l'intermédiaire du compensateur supplémentaire (16), au centre de convexité de la première (en comptant à partir de la source monochromatique (1) et dans le sens du trajet des rayons)
25 surface (B) du système de lentilles (6), qui est elle aussi une surface étalon concave sphérique, mais dont le rayon de convexité diffère du rayon de convexité de la dernière surface étalon (A), et un système supplémentaire (19) d'enregistrement de l'image d'interférence apparaissant
30 lorsque les rayons sont réfléchis par la première surface étalon du système de lentilles (6).

2. Interféromètre pour le contrôle de la forme de surfaces convexes de pièces optiques selon la revendication 1, caractérisé en ce que le système de lentilles (6)

comporte deux lentilles à ménisque positives (7 et 10) et deux lentilles plan-convexes (8 et 9) disposées entre les premières, orientées par leur surface plane vers les surfaces convexes des lentilles en ménisque.

5 3. Interféromètre pour contrôler la forme de surfaces convexes de pièces optiques selon la revendication 1, caractérisé en ce que le système de lentilles (6') se compose de lentilles positives à ménisque (23 et 24), avec une lentille biconvexe (25) disposée entre elles.

10 4. Interféromètre pour le contrôle de la forme de surfaces convexes de pièces optiques selon la revendication 1, caractérisé en ce que le système de lentilles (6'') se compose de deux lentilles positives à ménisque (26 et 27), la surface convexe (28 ou 29) d'au moins l'une de
15 celles-ci étant sphérique et jouant le rôle des compensateurs principal (5) et supplémentaire (16).

