(19) CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 719 654 B1

(51) Int. Cl.: G04D 3/00 (2006.01)
B23Q 17/24 (2006.01)
G04D 7/00 (2006.01)
B23K 26/38 (2014.01)
G05B 19/40 (2006.01)
A61B 1/00 (2006.01)

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

(21) Numéro de la demande: 000516/2022

(22) Date de dépôt: 03.05.2022

(43) Demande publiée: 15.11.2023

(24) Brevet délivré: 13.06.2025

(45) Fascicule du brevet publié: 13.06.2025

(73) Titulaire(s):
Pierhor-Gasser SA, Chemin du Croset 9 B
1024 Ecublens VD (CH)

(72) Inventeur(s):
Philippe Jacot, 2022 Bevaix (CH)
Fabrice Lambert, 1173 Féchy (CH)
Hubert Lorenz, 1965 Savièse (CH)
Ivan Calderon, 2014 Bôle (CH)
Grégoire Genolet, 1926 Fully (CH)

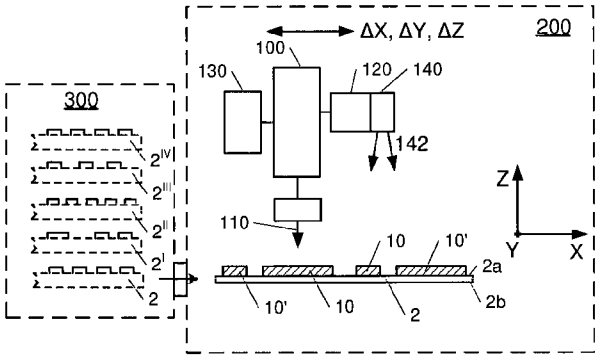
(74) Mandataire:
BOVARD SA Neuchâtel Conseils en propriété intellectuelle, Rue des Beaux-Arts 8
2000 Neuchâtel (CH)

(54) Procédé et équipement d'usinage correctif de pièces microtechniques

(57) La présente invention concerne un équipement d'usinage correctif de pièces (10, 10') réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique, notamment par série, à l'exception d'un procédé de fabrication LIGA, et comprenant une machine d'usinage (200) comprenant des moyens d'usinage sans force pour corriger par usinage les pièces (10, 10') et un système de pilotage des moyens d'usinage sans force. L'équipement comprend un système d'enregistrement d'au moins une géométrie cible prédéterminée propre à chaque pièce positionnée sur un support (2) par rapport à un repère de référence.

L'équipement d'usinage correctif permet de déterminer et de réaliser une correction de la géométrie à apporter par rapport à la géométrie cible.

L'invention concerne aussi un procédé d'usinage correctif de pièces de microtechnique (10, 10') réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique, notamment par série, à l'exception d'un procédé de fabrication LIGA, le procédé comprenant les différentes étapes consistant à : **A**) fournir sur un support (2) des pièces (10, 10') réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique, notamment par série, à l'exception d'un procédé de fabrication LIGA; **B**) se munir de l'équipement d'usinage correctif et insérer au moins un support (2) dans la machine d'usinage (200); **C**) enregistrer une géométrie cible prédéterminée propre à chaque pièce (10, 10') positionnée sur le support (2) par rapport à un repère de référence ; **D**) reconnaître, dans le repère de référence, la géométrie 3D des pièces (10, 10') réalisées préalablement par le procédé de fabrication de microtechnique, et déterminer une correction de la géométrie à apporter par rapport à la géométrie cible enregistrée à l'aide du système de vision (110) et de l'unité de calcul (120); **E**) exécuter des étapes d'usinages correctifs des pièces (10, 10') par les moyens d'usinage sans force (100), qui sont, avant l'usinage correctif de chaque pièce (10, 10'), déplacés et positionnés dans le repère de référence par rapport à la pièce (10, 10') à corriger, afin de réaliser l'usinage correctif en fonction de la correction de la géométrie déterminée à l'étape **D** pour obtenir la géométrie cible; et **F**) libérer au moins une des pièces (10, 10') de son support (2).



Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne le domaine général de la microtechnique et notamment l'usinage correctif de pièces par des moyens d'usinage sans force. L'invention concerne plus particulièrement un procédé et un équipement d'usinage correctif de petites pièces, réalisées préalablement par un procédé fabrication de microtechnique, à l'aide de moyens d'usinage sans force, comme un laser à très courtes impulsions. Le procédé de microtechnique ne comprend pas un procédé de fabrication LIGA,

[0002] L'équipement d'usinage trouve une application particulière dans l'industrie horlogère, notamment pour la réalisation de pièces de montres. On peut également citer des applications dans les domaines de la fluidique (buses) et médicales (paliers, isolateurs) et de la connectique (pointes de test).

Etat de la technique

[0003] L'utilisation de petites pièces est connue dans divers domaines tels que les applications médicales ou l'horlogerie.

[0004] Afin d'avoir des procédés de fabrication de ces petites pièces plus rapides et plus économiques, il a été proposé de réaliser ces pièces microtechniques par des procédés de fabrication de microtechnique, notamment des procédés de fabrication par série ou lot.

[0005] Un procédé de fabrication par microtechnique par série ou lot permet de réaliser rapidement et de manière peu coûteuse un grand nombre de pièces sur un même support, les pièces étant ensuite séparées de leur support pour pouvoir se présenter de manière individuelle.

[0006] Un procédé de fabrication de microtechnique est par exemple un procédé par étampage. Le matériau à déformer ou à structurer peut être un métal ou un polymère. L'étampage peut être mis en œuvre pour fabriquer des pièces par lot à partir d'un même substrat.

[0007] Un autre procédé de fabrication par série ou lot est basé sur la photolithographie et le formage, et consiste à :

- déposer une couche de photoresist sur un substrat;
- effectuer à travers un masque correspondant à une multitude d'empreintes une irradiation de la couche de photoresist, par exemple par un flux lumineux ou un flux d'électrons ou encore par un plasma ;
- développer, c'est-à-dire éliminer par des moyens chimiques, les portions de photorésist non polymérisées et créer de ce fait une multitude de structures en photoresist ;
- déposer dans lesdites structures au moins un autre matériau, qui sera structuré conformément aux structures réalisées dans le photoresist ;
- éliminer le photoresist pour obtenir les pièces de manière individuelle.

[0008] D'autres techniques de microtechnique pour réaliser des pièces sont par exemple :

- la photolithographie soustractive
- l'usinage ;
- la découpe;
- le moulage.

[0009] Toutefois, les microstructures obtenues selon les procédés de microtechnique, notamment les procédés de fabrication par lot, ont une précision limitée.

[0010] Avec les procédés de fabrication de microtechnique, notamment les procédés de fabrication par lot, le contrôle des dimensions (le diamètre et la verticalité, par exemple pour un trou), dépend de beaucoup de paramètres. On peut citer par exemple dans le cas de procédés basés sur la photolithographie, la géométrie du moule et/ou la résine qui elle-même dépend des paramètres du procédé de structuration des résines. Il y a également une évolution de la géométrie durant la formation des pièces. Le matériau du moule, la taille des cavités, le type de photoresist, la hauteur du photoresist, le type et l'épaisseur du matériau déposé, par exemple, sont des paramètres importants.

[0011] La répétabilité d'un procédé de fabrication en microtechnique est extrêmement compliquée à maîtriser en raison de tous ces facteurs, en particulier quand une précision extrême est recherchée.

[0012] Il est donc évident que pour obtenir de manière précise et répétable un trou, par exemple, dans une microstructure fabriquée par microtechnique, notamment par un procédé de fabrication par lot, un contrôle rigoureux des paramètres cités plus haut doit être fait. Cela n'est techniquement et économiquement pas imaginable pour tous les paramètres. Chaque diamètre de trou et chaque épaisseur va demander des ajustements particuliers de ces paramètres. Si une microstructure possède plusieurs trous avec des diamètres et/ou des épaisseurs différents, il est aisé de comprendre que la précision obtenue est le fruit d'une série de compromis.

[0013] Dans le domaine de microstructures fabriquées par microtechnique, il n'existe pas de solution qui permette d'obtenir rapidement, pour un groupe de pièces, des précisions inférieures à +/-2µm, voire +/- 1µm dans le meilleur des cas, de manière reproductible dans le temps. La solution connue à l'heure actuelle est de traiter chaque pièce individuellement, même si elle est obtenue au préalable par un procédé de fabrication par lot, pour obtenir une pièce présentant la précision recherchée. Cette solution nécessite de nombreuses manipulations et exige un temps important pour traiter un grand nombre de pièces.

[0014] Il y a donc un besoin à disposer d'une nouvelle technique qui permet d'améliorer la précision des composants micromécaniques réalisées par microtechnique, notamment par série ou lot, et ceci sans augmenter substantiellement le coût de leur réalisation.

Objet de l'invention

[0015] L'invention concerne un procédé et un équipement d'usinage correctif, notamment par laser, d'un grand nombre de petites pièces réalisées préalablement par un procédé de fabrication microtechnique, à l'exception d'un procédé LIGA.

[0016] Il est précisé que l'invention ne concerne pas l'usinage correctif de pièces réalisées au préalable par un procédé LIGA (Lithographie Galvanoformung Abformung) qui, par définition, est exclu de l'invention.

[0017] La réalisation directe de dimensions précises et répétables a atteint ses limites avec tous les procédés de fabrication de microtechnique, notamment les procédés par série ou par lot. Afin de garantir des précisions et des tolérances encore plus élevées, un ré-usinage ciblé par des moyens d'usinage sans force, par exemple par un laser pulsé, est proposé. La retouche des dimensions critiques se fait sur des éléments identifiés et ébauchés.

[0018] Plus précisément, l'équipement et le procédé de l'invention permettent de corriger extrêmement rapidement et de manière fiable par usinage sans force des pièces réalisées préalablement par un procédé de fabrication microtechnique. Lesdites pièces peuvent être réalisées sur un substrat et peuvent être ensuite transférées sur un support de pièces. Dans le cas d'étampage il n'y pas forcément besoin de transférer les pièces sur un support de pièces. Le procédé et l'équipement de l'invention permettent de réaliser une pluralité de pièces de dimensions très précises, arrangées sur un support, et cela à haute vitesse et sans augmenter substantiellement leur coût de fabrication.

[0019] L'équipement et le procédé de l'invention permettent d'utiliser les machines d'usinage sans force, de préférence par laser, par exemple par un laser femtoseconde, qui sont des machines extrêmement couteuses, au maximum de leur capacité. Ceci est clé dans le domaine de la fabrication de pièces d'horlogerie mais également des pièces médicales de précision tels qu'utilisées par exemple dans des endoscopes. Une application particulière vise la réalisation de surfaces courbées et des trous et ouvertures dans des pièces réalisées au préalable par un procédé microtechnique, notamment un procédé de fabrication par série ou par lot, et cela avec une très grande précision.

[0020] Dans un premier aspect l'invention est réalisée par un équipement d'usinage correctif de pièces de microtechnique réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique, à l'exception d'un procédé de fabrication LIGA, comprenant une machine d'usinage comprenant un système de chargement/déchargement de supports de pièces, des moyens d'usinage sans force pour corriger par usinage lesdites pièces et un système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force, ladite machine d'usinage définissant un plan horizontal X-Y et un axe vertical Z orthogonal au plan horizontal X-Y.

[0021] Chaque support comprend, au moins sur une face, une surface agencée pour au moins y fixer une pluralité de pièces réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique.

[0022] L'équipement d'usinage correctif comprend un système d'enregistrement d'au moins une géométrie cible propre à chaque pièce positionnée sur le support par rapport à un repère de référence, ledit système d'enregistrement desdites géométries cibles étant agencé pour coopérer avec le système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force.

[0023] L'équipement d'usinage correctif comprend un système de vision permettant de reconnaitre, dans le repère de référence, la géométrie 3D des pièces réalisées préalablement par le procédé de microtechnique et une unité de calcul permettant de comparer la géométrie reconnue par rapport à la géométrie cible et de déterminer une correction de la géométrie à apporter par rapport à ladite géométrie cible enregistrée, au moins l'unité de calcul étant agencée pour coopérer avec le système de pilotage des moyens d'usinage sans force.

[0024] Ledit système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force comprend un système de positionnement desdits moyens d'usinage sans force agencé pour, avant l'usinage correctif de chaque pièce, déplacer et positionner lesdits moyens d'usinage sans force dans le repère de référence par rapport à ladite pièce à corriger et pour réaliser l'usinage correctif en fonction de ladite correction de la géométrie, de manière à obtenir de ladite géométrie cible.

[0025] Dans un mode de réalisation, lesdits moyens d'usinage sans force comprennent un émetteur agencé pour émettre une onde électromagnétique.

[0026] Dans un mode de réalisation, l'émetteur est configuré pour émettre une onde électromagnétique ayant une longueur d'onde entre 150nm et 1mm, préférablement entre 200nm et 15µm, encore plus préférablement entre 300nm et 5µm. L'émetteur peut être avantageusement un laser.

[0027] Dans un mode de réalisation, le laser est un laser femtoseconde, configuré pour émettre des impulsions ayant une durée de moins de 900 femtosecondes, préférablement moins de 250 femtoseconde.

[0028] Dans un mode de réalisation, au moins un repère de référence est prévu sur ledit support de pièces.

[0029] Dans un mode de réalisation, au moins un repère de référence est prévu sur au moins une desdites pièces.

[0030] Dans un mode de réalisation, au moins un repère de référence est prévu sur la machine d'usinage.

[0031] Dans un mode de réalisation le support de pièces est un substrat sur lequel ont été préalablement réalisées lesdites pièces par le procédé de fabrication de microtechnique.

[0032] Dans un mode de réalisation, le système de vision est agencé pour réaliser une mesure de géométrie 3D avec une précision inférieure à 10 µm, de préférence inférieure à 5 µm, plus préférentiellement inférieure à 2 µm, dans au moins un des 3 axes X, Y, Z.

[0033] Dans un mode de réalisation le support est agencé pour porter au moins deux ensembles contenant des pièces de types différents.

[0034] Dans un mode de réalisation, la machine d'usinage comprend un système pour libérer, après leur usinage correctif, au moins une partie des pièces de leur support.

[0035] Dans un mode de réalisation ledit système de positionnement comprend un système optique à 5 axes, agencé pour coopérer avec le système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force, pour pouvoir orienter l'onde électromagnétique émise dans les 3 dimensions X-Y-Z.

[0036] Dans un mode de réalisation ledit système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force est agencé pour usiner au moins une portion des pièces selon différentes étapes d'usinage.

[0037] Dans un mode de réalisation, chaque support est agencé pour recevoir plus de 10, de préférence plus de 100, de préférence plus de 1000, préférablement plus de 5000 pièces, et en ce que ladite machine d'usinage est adaptée pour pouvoir corriger au moins 5000 pièces en moins de 10000 secondes.

[0038] L'invention est également réalisée par un procédé d'usinage correctif de pièces de microtechnique réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique à l'exception d'un procédé de fabrication LIGA, ledit procédé comprenant les différentes étapes (**A-F**) consistant à :

A: fournir, sur un support de pièces, des pièces réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique à l'exception d'un procédé de fabrication LIGA;

B: se munir de l'équipement d'usinage correctif comme décrit, et insérer au moins un dudit support de pièces dans ladite machine d'usinage;

C: enregistrer une géométrie cible propre à chaque pièce positionnée sur ledit support de pièces par rapport à un repère de référence;

D: reconnaître, dans ledit repère de référence, la géométrie 3D des pièces, réalisées préalablement par le procédé de fabrication de microtechnique, et déterminer une correction de la géométrie à apporter par rapport à ladite géométrie cible enregistrée à l'aide dudit système de vision et de ladite unité de calcul;

E: exécuter des étapes d'usinages correctifs desdites pièces par lesdits moyens d'usinage sans force, qui sont, avant l'usinage correctif de chaque pièce, déplacés et positionnés dans le repère de référence par rapport à ladite pièce à corriger, afin de réaliser l'usinage correctif en fonction de ladite correction de la géométrie déterminée à l'étape **D** pour obtenir ladite géométrie cible;

F: libérer au moins une desdites pièces de son support.

[0039] Dans un mode de réalisation, l'étape **C** d'enregistrement comprend l'enregistrement d'au moins une position X-Y-Z de référence prédéterminée propre à chaque pièce positionnée sur le support de pièce dans le repère de référence.

[0040] Dans ce mode de réalisation, l'étape **D** de reconnaissance des pièces comprend également la reconnaissance du positionnement des pièces dans le repère de référence et la détermination de la correction de la géométrie à apporter par rapport à ladite position X-Y-Z de référence enregistrée à l'aide dudit système de vision et de ladite unité de calcul.

[0041] Dans un mode de réalisation, le repère de référence est prévu sur ledit support .

[0042] Dans un mode de réalisation le repère de référence prévu sur ledit support de pièces a été transféré du substrat dans lequel ont été préalablement réalisées les pièces par le procédé de fabrication de microtechnique.

[0043] Dans un mode de réalisation, ledit repère de référence est réalisé sur au moins une surface d'au moins une pièce.

[0044] Dans un mode de réalisation, ledit support de pièces est un film de transfert réalisé au moins partiellement en un polymère.

[0045] Dans un mode de réalisation, ledit support de pièces est un substrat sur lequel ont été préalablement réalisées lesdites pièces par le procédé de fabrication de microtechnique.

[0046] Dans un mode de réalisation au moins un repère de référence est prévu sur la machine d'usinage.

[0047] L'invention est également réalisée par une pièce de microtechnique, obtenue par le procédé comme décrit et ayant au moins une portion qui présente, entre les dimensions de la pièce corrigée et de la géométrie cible, un écart inférieur à 2 µm, préférablement inférieur à 1.5 µm.

[0048] Dans un mode de réalisation de la pièce de microtechnique, au moins deux surfaces de ladite pièce de microtechnique ont été corrigées avec le procédé comme décrit.

[0049] Tous les modes de réalisation peuvent être combinés entre eux selon toute combinaison techniquement compatible.

Descriptifs des figures

[0050] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée de plusieurs exemples de réalisation faite en référence aux figures annexées parmi lesquelles :

- La Figure 1 représente une étape d'un procédé de fabrication basé sur l'étampage d'un substrat par un outil;
- La Figure 2 représente un support de pièces comprenant des pièces réalisées par un procédé de microtechnique. Dans le mode de réalisation illustré en Figure 2 un support de pièces est réalisé sur le substrat de base utilisé pendant le procédé de fabrication.
- La Figure 3 représente une série de pièces réalisées avant leur séparation;
- La Figure 4 représente une pluralité de pièces, réalisées à partir d'un même support par un procédé de fabrication microtechnique, le support comprenant des zones d'affaiblissement entre les pièces, en vue de pouvoir séparer les pièces aisément entre elles et de leur support.
- La Figure 5 illustre un exemple de séparation des pièces entre elles, après leur usinage de correction, et de leur support, et cela par simple pliage du support de pièces;
- La figure 6 illustre le schéma de principe d'un usinage de correction sans force;
- La Figure 7 représente le schéma d'un équipement de correction de pièces comprenant une machine d'usinage sans force comprenant préférablement un laser femtoseconde, un système de vision et une unité de calcul;
- La Figure 8 représente une coupe verticale d'une pièce réalisée par un procédé de fabrication de microtechnique;
- La Figure 9 représente un faisceau laser dirigé sur une pièce microtechnique selon la Figure 8 en vue d'exécuter une correction de forme par ablation de matière à l'aide d'un système d'usinage sans force;
- La Figure 10 représente un faisceau laser dirigé sur une pièce microtechnique, dans une position pour réaliser un diamètre cible d'une ouverture;
- La Figure 11 représente une pièce réalisée par un procédé de fabrication microtechnique et dont la forme et/ou dimension et/ou état de surface a été corrigé à l'aide d'un usinage sans force;
- La Figure 12 représente une micro-pièce à multi-niveaux, comprenant des trous, réalisée avec l'équipement de correction de pièces et le procédé selon l'invention;
- Les Figures 13-15 illustrent des pièces réalisées par l'équipement de correction de pièces et le procédé selon l'invention;
- La Figure16 représente un support de pièces comprenant des pièces réalisées par un procédé microtechnique de fabrication par série. La figure 16 illustre aussi des repères sur le support de pièces;
- La Figure 17 illustre une portion d'un support de pièces comprenant des repères de positions en proximité des pièces sur le support de pièces;

- La Figure 18 montre un substrat comprenant des pièces réalisées par un procédé de microtechnique;
- La Figure19 représente une tête laser d'une machine d'usinage aligné en face d'un support de pièces, ledit support de pièces étant un film flexible et comprenant des pièces réalisées par un procédé de microtechnique.
- La figure 20 montre un support de pièces qui est un film flexible sur lequel des pièces ont été transférées depuis un substrat.

Description de modes de réalisation de l'invention

[0051] L'invention concerne un procédé d'usinage correctif de pièces, réalisées au préalable par un procédé de fabrication de microtechnique, notamment un procédé de fabrication par série ou par lot. Les pièces sont préférablement des micropièces ayant une taille maximale typique de quelques millimètres voir plus petit qu'un millimètre. Le procédé permet de réaliser des pièces de très haute précision, c.à.d. ayant des surfaces, dimensions et formes, qui sont définies avec des précisions inférieures à 2µm, voire inférieures à 1µm.

[0052] Bien qu'une application privilégiée de l'invention concerne le domaine de l'horlogerie, elle n'est pas limitée à ce domaine et peut s'appliquer à tout domaine qui bénéficie de petites pièces qui présentent des ouvertures et/ou des surfaces usinées telles que des surfaces courbées ou des surfaces définies par un polygone dans au moins une section de ladite pièce. Les pièces peuvent être réalisées dans n'importe quel matériau, par exemple :

- un métal;
- un polymère;
- une céramique;
- du sol-gel;
- n'importe quel diélectrique comme le verre ;
- un semiconducteur.

[0053] Les pièces peuvent être des pièces hybrides faites d'au moins deux matériaux différents.

[0054] Par exemple, les dimensions des pièces utilisées dans les mécanismes horlogers sont de très petites tailles et il est très difficile de les usiner avec précision et à des faibles coûts et à haute vitesse. Le diamètre extérieur maximal de ces pièces est typiquement entre 0.5 et 3 mm, et l'épaisseur typique est entre 0.05 mm et 1 mm.

[0055] Il est connu qu'il est très délicat de charger et décharger les pièces de microtechnique individuelles de façon très rapide dans une machine d'usinage afin d'assurer la cadence permise par l'usinage. Les méthodes standards utilisent des chargements par bols vibrants ou par systèmes d'alimentation flexibles guidés par vision qui chargent directement les pièces microtechniques dans des posages à serrage, ce qui permet un positionnement parfait des petites pièces avant leur usinage. Ces méthodes sont très difficiles à mettre au point pour atteindre des niveaux de fiabilité et d'autonomie élevés. De plus elles sont incapables d'atteindre des cadences de chargement/déchargement très élevées, c.à.d. de cadences bien plus rapides que 0.5 s par pièce.

[0056] Réaliser des pièces dont la géométrie désirée est réalisée avec une très haute précision, typiquement de l'ordre du micromètre, par des méthodes qui sont basées sur un usinage en appliquant une force nécessite un usinage pièce par pièce, ce qui est très onéreux et ne permet pas toujours d'obtenir la précision requise.

[0057] L'équipement et le procédé de l'invention proposent une méthode basée sur la réalisation d'une correction, sans appliquer de force, des dimensions et/ou formes de pièces réalisées préalablement par procédé de fabrication de microtechnique, notamment par série ou par lot. Il est compris ici que le terme „sans force“ veut dire un usinage sans contact direct entre un outil d'usinage et les pièces à corriger.

[0058] Dans la présente description de l'invention il est compris ici que le terme „usinage“ veut dire une correction de forme et/ou ou de dimension d'au moins une portion d'une pièce au moins partiellement préalablement réalisée par un quelconque procédé de microtechnique, notamment par série ou par lot. Le terme „usinage“ comprend aussi une simple correction de forme 3D des pièces sans forcément enlever de la matière des pièces.

[0059] Dans la présente description de l'invention, un procédé de fabrication par série ou par lot permet de réaliser un grand nombre de pièces sur un même support, les pièces devant ensuite être séparées de leur support pour pouvoir se présenter de manière individuelle.

[0060] Il est entendu ici que le procédé de fabrication de microtechnique des pièces est de préférence un procédé de fabrication par série ou par lot, de sorte qu'à la fin du procédé de fabrication des pièces, la pluralité 1000 des pièces 10,

10' à corriger par usinage correctif sans contact, sont déjà avantageusement tenues d'une manière ou d'une autre sur un support de pièces 2 dont des variantes sont discutées dans le présent document.

[0061] Dans la présente description, on appelle „usinage sans force" un usinage non conventionnel selon lequel il n'y a pas d'action mécanique transmise par contact direct et effort entre un outil et la pièce, contrairement à un usinage conventionnel où il existe un contact direct entre l'outil et la pièce et dans lequel d'importantes forces de coupe sont impliquées. Un usinage sans force est donc un usinage sans contact direct entre la pièce à usiner et un outil d'usinage qui serait susceptible d'exercer un effort ou une contrainte sur ladite pièce. L'usinage sans force est un usinage avec un effort d'usinage inférieur au Newton (N) ou une pression spécifique de coupe inférieure à 1 N/mm^2.

[0062] L'équipement et le procédé de l'invention permettent de réaliser une correction des dimensions et/ou de la forme désirée par ledit usinage sans force, défini aussi comme „correction sans force". Les pièces 10, 10', 10'', 10''' sont réalisées par microtechnique et avec une précision moyenne, typiquement de +/- 2 microns, caractéristique des procédés de fabrication de microtechnique, et sont finalisées, c'est-à-dire corrigées, par un usinage final sans appliquer de force.

[0063] Toute technique de fabrication de microtechnique peut être employée pour réaliser les pièces qui sont à corriger par l'équipement d'usinage correctif de l'invention, par exemple :

- la photolithographie soustractive
- l'usinage;
- la découpe;
- le moulage;
- l'étampage consistant dans la déformation mécanique d'une lame ou plaque ou autre substrat approprié pour lesdites pièces.

[0064] Ces procédés peuvent avantageusement être mis en œuvre pour fabriquer les pièces par lot ou par série comme le procédé d'étampage illustré en Figure 1. Le procédé peut être aussi un procédé de structuration permettant de réaliser un grand nombre de pièces sur un seul substrat à la fois pendant ledit procédé.

[0065] L'équipement et le procédé de l'invention peuvent comprendre au moins un des moyens d'usinage sans force suivant:

- usinage par émission d'une onde électromagnétique, par exemple un faisceau de lumière tel qu'un faisceau laser ;
- usinage par plasma, préférablement un plasma directionnel
- usinage par microondes, préférablement des micro-ondes directifs
- usinage par procédé électro-chimique, préférablement une attaque électrochimique locale (ECM). Le procédé **ECM** est une méthode d'usinage employée généralement pour ébavurer, évider, polir ou réaliser des perçages. L'usinage électrochimique nécessite deux composants élémentaires: l'électrolyte et le courant électrique. L'„électrolyte" est par exemple de l'eau salée qui constitue le conducteur du courant électrique.
- usinage par effet magnétique.
- usinage par faisceau d'électrons, protons ou neutrons ;
- usinage à l'aide d'un un arc électrique , par exemple par électroérosion par enfonçage, appelée couramment aussi EDM (terme anglais signifiant „electrical discharge machining") ;
- usinage par fil et électroérosion.

[0066] Les diverses méthodes d'usinage sans force ne doivent pas nécessairement enlever de la matière. Par exemple, par induction une portion d'une pièce peut subir une déformation, comme par exemple une faible correction du rayon de courbure d'une membrane mince.

[0067] Il est entendu qu'au moins deux moyens d'usinage peuvent être mis en œuvre, que ce soit en opération en même temps ou selon des temps d'usinages différés. Par exemple, les pièces peuvent subir d'abord une radiation d'un flux d'infrarouge afin de ramollir ou déformer une pièce10, 10', suivi par un usinage local par femto laser.

Description de l'Equipement

[0068] Plus précisément, dans un premier aspect, l'invention concerne un équipement d'usinage correctif de pièces 10, 10' de microtechnique réalisées préalablement par un procédé de microtechnique, notamment par lot ou série, comprenant

une machine d'usinage 200. La machine d'usinage 200 comprend préférablement un système de chargement/déchargement 300 de supports de pièces 2 pour pièces de microtechnique 10, 10', des moyens d'usinage sans force pour corriger par usinage lesdites pièces 10, 10' et un système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force. Comme illustré dans un exemple dans la Figure 7, ladite machine d'usinage 200 définit un plan horizontal X-Y et un axe vertical Z orthogonal au plan horizontal X-Y

[0069] Dans un mode de réalisation, chaque support de pièces 2 comprend, au moins sur une face, une surface 2a, 2b agencée pour au moins y fixer une pluralité de pièces 10, 10' réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique.

[0070] Dans d'autres modes de réalisation, par exemple dans le cas de l'étampage, le support de pièce 2 peut constituer le substrat 1 qui a servi directement comme support pour former une pluralité 1000 de pièces 10, 10'. Ceci est illustré dans la Figure 2 dans laquelle une plaque 1 , par exemple réalisé dans un métal mou, est soumise à une déformation en appliquant une force F1 à travers un outil structuré. Dans le cas illustré en Figure 2 la plaque 1 fait office de substrat, c.à.d. le substrat déformé contient les pièces 10, 10' dont la géométrie est à corriger après l'étampage.

[0071] L'équipement d'usinage correctif comprend un système d'enregistrement d'au moins une géométrie cible propre à chaque pièce 10, 10' positionnée ou formée sur le support 2 par rapport à un repère de référence, ledit système d'enregistrement desdites géométries cibles étant agencé pour coopérer avec le système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force.

[0072] L'équipement d'usinage correctif comprend un système de vision 120 et une unité de calcul 130 permettant de reconnaître, dans le repère de référence, la géométrie 3D des pièces 10, 10' réalisées préalablement par un procédé de microtechnique et de déterminer une correction de la géométrie à apporter par rapport à la géométrie cible enregistrées, au moins l'unité de calcul 130 étant agencée pour coopérer avec le système de pilotage des moyens d'usinage sans force. Dans les Figures 6 et 7, ledit déplacement et positionnement des moyens d'usinage sans force dans l'espace X-Y-Z est illustré par les symboles ΔX, ΔY, ΔZ.

[0073] Dans d'autres modes de réalisation, au moins une position X-Y-Z de référence propre à chaque pièce par rapport au repère de référence est aussi prise en compte en plus de la géométrie cible par le système d'enregistrement, ledit système d'enregistrement desdites position X-Y-Z étant également agencé pour coopérer avec le système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force.

[0074] Dans ce cas, le système de vision 120 et l'unité de calcul 130 permettent également de reconnaître, dans le repère de référence, le positionnement des pièces 10, 10' réalisées préalablement par le procédé de microtechnique et de déterminer la correction de la géométrie à apporter par rapport à la position X-Y-Z de référence enregistrée,

[0075] Il est à noter que, du fait que les géométries des pièces sont déterminées par le système de vision, et cela par rapport à au moins un référentiel, automatiquement les positions des pièces sont parfaitement connues par rapport à ce référentiel.

[0076] Avantageusement, un système d'éclairage 140 des pièces 10, 10' ou d'une partie du support de pièces 2 est adapté dans l'équipement d'usinage, préférablement adapté au système de vision 120 comme illustré dans la Figure 7. Le système d'éclairage peut émettre un faisceau 142 UV, visible ou infrarouge qui peut être divergent, collimaté ou focalisé.

[0077] Ledit système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force comprend un système de positionnement desdits moyens d'usinage sans force agencé pour, avant l'usinage correctif de chaque pièce 10, 10', déplacer et positionner lesdits moyens d'usinage sans force dans le repère de référence par rapport à ladite pièce 10, 10' à corriger et pour réaliser l'usinage correctif en fonction de ladite correction de la géométrie, de manière à obtenir ladite géométrie cible.

[0078] Dans un mode de réalisation préféré, illustré en Figure 6, les moyens d'usinage sans force comprennent un émetteur 100 agencé pour émettre une onde électromagnétique 110. Dans d'autres modes de réalisation, l'émetteur 100 est un émetteur de particules tels que des électrons, des protons ou des neutrons. Dans d'autres modes de réalisation, l'émetteur comprend un générateur d'un champ électrique et/ou magnétique, par exemple une bobine d'induction. Dans d'autres modes de réalisation, l'émetteur 100 est une pièce adaptée pour émettre un arc électrique. Bien entendu un émetteur peut comprendre au moins deux émetteurs de type différent.

[0079] Préférablement, l'émetteur 100 est configuré pour émettre une onde électromagnétique 110 ayant une longueur d'onde entre 150nm et 1mm, préférablement entre 200nm et 15µm, encore plus préférablement entre 300nm et 5µm.

[0080] Dans un mode de réalisation, l'émetteur 100 est un laser, préférablement pulsé, configuré pour émettre un faisceau laser 110. Les lasers de dernières générations à impulsions ultra-courtes permettent l'enlèvement contrôlé et précis de matière. La solution proposée combine l'usinage correctif par laser à ondes ultra-courtes sur des composants fabriqués au préalable par un procédé de fabrication de microtechnique .

[0081] Avantageusement ledit laser 100 peut être un laser femtoseconde, configuré pour émettre des impulsions ayant une durée de moins de 900 femtosecondes, préférablement moins de 100 femtoseconde, préférablement moins de 10 femtoseconde. Les durées d'impulsion typiques d'un laser pulsé 100 sont préférablement entre 500 fs et 10 fs.

[0082] L'usinage correctif d'une surface et/ou trou interne d'une pièce métallique, par exemple par laser, de préférence un laser femtoseconde, est très rapide, et l'usinage peut se faire en environ 0.5 à 1.5 secondes suivant les dimensions des ouvertures à corriger. Des diamètres typiques d'ouvertures sont entre 0.05 mm et 2 mm.

[0083] De préférence, un émetteur 100 peut émettre dans l'infrarouge avec une longueur d'onde comprise entre 800 nm et 1100 nm, idéalement 1030 nm, ou dans le vert avec une longueur d'onde comprise entre 500 nm et 540 nm idéalement 515 nm, ou dans le bleu avec une longueur d'onde comprise entre 400 nm et 480 nm ou dans l'ultraviolet avec une longueur d'onde inférieure à 400 nm idéalement 343 nm.

[0084] Avantageusement l'émetteur 100 est un laser femtoseconde émettant un faisceau UV, vert ou infrarouge. Un laser femtoseconde UV à 343 nm et un laser femtoseconde vert à 515 nm peut atteindre, sur des pièces métalliques, une rugosité de moins que 50 nm. Dans le cas d'un laser IR émettant un faisceau d'une longueur d'onde de 1030nm, une rugosité typique est de 100 nm ou meilleure.

[0085] Dans des modes de réalisation l'énergie maximale par pulse laser est avantageusement proche de 2 mJ.

[0086] La puissance du laser est typiquement de 20 W, mais doit être adaptée en fonction du matériau des pièces 10, 10'.

[0087] Un des avantages de la fabrication de microstructures par un procédé de fabrication de microtechnique, au sens de l'invention, tel qu'étampage ou photolithographie et formage, est de pouvoir être mis en œuvre pour fabriquer sur un même substrat 1 un nombre important de pièces.

[0088] Les retouches peuvent donc avantageusement se faire lorsque les pièces 10, 10' sont encore toutes positionnées sur le support de pièces 2 dans la même configuration qu'elles avaient sur le substrat 1 lors du procédé de fabrication de microtechnique.

[0089] Dans des modes de réalisation le support de pièces 2 peut être le substrat sur lequel ont été formées les pièces, les pièces n'ayant alors pas besoin d'être transférées sur un autre support de pièces.

[0090] Comme les pièces sont positionnées sur un support de pièces 2, de préférence de manière identique à la configuration du substrat 1, le support de pièces 2 pouvant être le substrat lui-même, il n'y a pas besoin de système d'alimentation et d'orientation des pièces 10, 10'. Un système de déplacement dans le plan X-Y pour le support de pièces 2 ou pour l'émetteur 100 suffit pour pouvoir travailler un grand nombre de pièces 10, 10'.

[0091] Un autre avantage de ce procédé de fabrication est que la géométrie de chaque pièce 10, 10' positionnée sur le support de pièces 2 est parfaitement connue avec une grande précision, que les pièces à corriger soient encore liées entre elles ou séparées.

[0092] La connaissance précise du positionnement de chaque pièce 10, 10' sur le support de pièces 2 n'est pas absolument essentiel pour l'équipement d'usinage correctif et le procédé de l'invention, mais peut être avantageusement mise en œuvre dans un mode de réalisation dans lequel les pièces 10, 10' sont positionnées sur le support de pièces 2 dans la même configuration qu'elles avaient sur le substrat 1 lors du procédé de fabrication de microtechnique. Par exemple, le positionnement sur le support de pièces 2 de chaque pièce 10, 10' comportant un trou peut être référencé à partir du positionnement dudit trou sur le substrat, ce positionnement étant transféré sur le support de pièces 2. De préférence, le support de pièces 2 est un support flexible, comme illustré en Figure 19.

[0093] Les Figures 1-5, 16, 17 illustrent quelques exemples de réalisation d'une pluralité de pièces 10, 10' par des procédés de fabrication de microtechnique sur un support de pièces 2 décrits plus en détails dans le paragraphe relatif au procédé de l'invention.

[0094] Dans des modes de réalisation, comme illustré dans la Figure 2, le support de pièce 2 est présent dès le départ du processus de fabrication et constitue le substrat 1 à partir duquel les pièces 10, 10' sont fabriquées. Dans d'autres modes de réalisation, le support de pièces 2 peut être adapté au substrat 1 qui a servi comme base pour réaliser les pièces 10, 10', lesdites pièces 10, 10' étant positionnées sur le support de pièces 2 par tout moyen approprié.

[0095] On peut donc par exemple se baser sur le positionnement du trou pour centrer parfaitement la retouche par l'émetteur 100 après une mesure optique de la localisation dudit trou, par exemple. Afin d'éviter des temps d'usinage élevés le ré-usinage ne sera effectué que pour amener les géométries dans les bonnes dimensions. La géométrie (le diamètre dans le cadre d'un trou, par exemple), est ébauchée par un procédé de fabrication de microtechnique. Le ré-usinage laser ne sera utilisé que pour terminer, par exemple, les dimensions d'un trou sur les derniers microns et obtenir la verticalité et la précision demandées.

[0096] Le principe du ré-usinage est illustré dans les Figures 8 à 10. La Figure 10 illustre une pièce 10 qui comprend un trou 12 dont au moins une section verticale n'a pas un diamètre uniforme et dont le diamètre moyen D0 n'a pas la bonne valeur. Un faisceau laser 110 est déplacé (Figure 9) à l'endroit prédéterminé permettant de corriger (Figure 10) le diamètre du trou à sa valeur D1 désirée (Figure 11).

[0097] Dans un mode de réalisation, illustré en Figure 7, l'équipement d'usinage correctif comprend un système de chargement/déchargement 300 de supports de pièces 2.

Repères de référence

[0098] Dans un mode de réalisation le repère de référence est prévu sur ledit support 2 de pièces 10, 10'.

[0099] La figure 16 illustre un support de pièces 2 comprenant plusieurs repères de référence 20, 20', 20'', 20'''.

[0100] La figure 17 illustre des marques de repères de référence 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 qui sont situées en proximité des pièces 10, 10', 10'', 10''' à usiner.

[0101] Le repère de référence ne doit pas nécessairement se trouver sur ledit support de pièces 2. Effectivement, dans un autre mode de réalisation le repère de référence est prévu sur la machine d'usinage 200.

[0102] Dans une variante avantageuse, le repère de référence est au moins une marque d'alignement réalisée sur une surface dudit support 2 de pièces 10, 10'. Le repère de référence peut par exemple être constitué d'un ou plusieurs motifs d'alignement, par exemple des motifs en forme de croix, comme illustré dans la Figure 16 qui montre un substrat 1 comprenant une pluralité de pièces 10 réalisées sur ce substrat 1. Selon l'invention ce substrat peut être le support de pièces mais dans un mode de réalisation préféré les pièces 10 réalisées sur le substrat 1 de la Figure 16 sont transférées sur un film de transfert flexible 2 comme décrit et comme illustré dans l'exemple d'exécution montré dans la Figure 19.

[0103] Dans une variante, le repère de référence est au moins une marque d'alignement réalisée sur une surface dudit support de pièces 2, à proximité de chaque pièce 10,10'. Dans une variante, chaque pièce 10, 10', 10'', 10''' a son propre repère de référence à sa proximité.

[0104] Dans une variante, le repère de référence est un élément de la pièce 10, 10'.

[0105] Bien entendu l'équipement et le procédé de l'invention peuvent mettre en œuvre des repères différents, par exemple au moins un repère sur le support de pièces et au moins un repère sur un cadre qui tient le support de pièces.

Système(s) de vision

[0106] Dans un mode de réalisation le système de vision 120 est agencé pour réaliser une mesure de géométrie 3D avec une précision inférieure à 10 µm, de préférence inférieure à 5 µm, plus préférentiellement inférieure à 2 µm, dans au moins un des 3 axes X, Y, Z.

[0107] Dans d'autres modes de réalisation les positions X-Y des pièces 10, 10' sont déterminées avec une précision inférieure à 10 µm, de préférence inférieure à 5 µm, plus préférentiellement inférieure à 2 µm, dans le plan X-Y. Lesdites positions des pièces peuvent être par exemple la position du centre de la pièce et la position d'une portion particulière de la pièce comme un coin.

[0108] Le système de vision 120 peut être utilisé autant dans le cas où la position des pièces est très précise, mais également dans des situations où les pièces 10, 10' réalisées ont subi un léger déplacement entre elles.

[0109] Avantageusement, la focalisation et les mouvements 3D du faisceau 110 sont réalisés par un bloc optique, par exemple un bloc optique qui peut comprendre un système d'adaptation de la forme d'un faisceau laser et une orientation de 3, 4 ou 5 axes dans l'espace. Par exemple, la focalisation du faisceau laser peut être adaptée pendant l'opération de la correction des pièces 10, 10'.

[0110] Dans un mode de réalisation avantageux et préféré, le dispositif de mesure de la position est adapté au système de positionnement d'un laser 100. Dans ce cas le dispositif de mesure de la géométrie des pièces 10, 10' comprend un système de vision optique 120 qui est préférablement fixé audit laser 100, comme illustré dans la Figure 7. La figure 7 illustre un exemple d'un arrangement d'un tel système de vision 120 comprenant un capteur d'image adapté pour former des images dans un plan horizontal X-Y et de préférence un système d'illumination 140 adapté pour émettre un faisceau d'illumination 142. Le système de mesure de géométrie, et dans un autre mode de réalisation de positionnement, peut comprendre avantageusement un système pour déterminer la position verticale Z des pièces 10, 10'. Avantageusement un tel système de mesure de la position verticale est un système optique comprenant un système dynamique de focalisation dans la direction verticale Z. Il est entendu que le système de visualisation en 2D peut être agencé afin de faire des mesures 2D selon différentes positions verticales prédéterminées. Par exemple, différentes images 2D peuvent être prises pour différentes positions Z. Le système peut être adapté aussi afin d'assurer des images 2D pour une certaine position verticale. Par exemple, le système de vision peut être déplacé en direction verticale de telle façon à visualiser une surface prédéterminée, par exemple la face supérieure ou la face arrière des pièces 10, 10'. Ceci permet d'augmenter la précision de la mesure 3D X-Y-Z des pièces 10, 10'.

[0111] D'une manière avantageuse, le dispositif de mesure de la géométrie , et -dans un autre mode de réalisation- de positionnement X-Y-Z, est agencé pour réaliser une mesure avec une précision inférieure à 20 µm, de préférence 10 µm, plus préférentiellement 5 µm, et préférablement inférieure à 2 µm, dans les 3 axes X, Y, Z.

Autres modes de réalisation

[0112] Dans une variante d'exécution les moyens d'usinage sans force comprennent un émetteur et ledit système de positionnement comprend un système d'orientation à 5 axes, agencé pour coopérer avec le système de pilotage dudit émetteur 100. Ceci permet d'orienter le faisceau d'usinage 110 émis dans les 3 dimensions X-Y-Z. Dans une variante

l'émetteur 100 est un laser et le système d'orientation comprend un système optique afin de pouvoir orienter dans l'espace le faisceau 110 émis.

[0113] Dans des variantes de l'invention, ledit système de pilotage des moyens d'usinage sans force peut être agencé pour usiner au moins une portion des pièces 10, 10' selon différentes étapes d'usinage. Par exemple, une partie des pièces 10, 10' fixées sur ledit support de pièces 2 nécessiterait d'avoir une hauteur, définie dans l'axe Z, réduite de 3µm et une autre partie des pièces 10, 10' nécessiterait une correction de la hauteur de seulement 1µm.

[0114] Dans un mode de réalisation les pièces 10, 10' sont des pièces plates, contenues entre deux plans parallèles distants de moins de 5 mm, de préférence moins de 2 mm, de préférence moins de 1 mm.

[0115] Avantageusement, un support de pièces 2 est agencé pour recevoir plus de 10, de préférence plus de 100, de préférence plus de 1000, préférablement plus de 5000 pièces 10, 10', et ladite machine d'usinage 200 peut être adaptée pour pouvoir usiner au moins 5000 pièces en moins de 10000 secondes.

[0116] Dans un mode de réalisation, pas illustré dans les Figures, la machine d'usinage 200 peut comprendre un système pour libérer, après leur usinage, au moins une partie des pièces 10, 10' de leur support 2. Le support de pièces peut être le substrat qui a servi comme base pour réaliser les pièces 10, 10'.

[0117] D'une manière particulièrement avantageuse, la machine d'usinage 200 comprend un programme d'usinage pour usiner un nombre prédéterminé de ladite pluralité de pièces 10, 10'. Dans des variantes, le programme d'usinage peut rendre possible l'usinage de deux ensembles de pièces 10, 10' par deux lasers différents de la machine d'usinage 200 ou peut permettre d'usiner deux ensembles de pièces par deux modes d'opération différents d'un émetteur tel qu'un laser pulsé. Ces modes d'opérations différents peuvent consister dans l'utilisation d'énergies ou de puissances différentes, et/ou par un ajustement de l'ouverture numérique du faisceau laser.

[0118] Dans une variante d'exécution, la machine d'usinage 200 comprend un programme d'usinage pour corriger au moins une portion des pièces 10, 10' selon différentes étapes d'usinage correctif. Par exemple, chaque pièce peut être traitée pour la correction d'un trou, suivie par une opération de traitement d'un bord ou d'une circonférence de la pièce 10, 10'.

[0119] Dans un mode de réalisation, la machine d'usinage de l'invention 200 peut comprendre au moins deux lasers qui produisent des faisceaux non parallèles. Par exemple, un premier laser femtoseconde peut être adapté pour réaliser des ouvertures et un autre laser peut être utilisé pour produire un faisceau qui n'est pas parallèle au faisceau du premier laser.

[0120] Avantageusement , la machine d'usinage 200 de l'invention peut comprendre au moins une optique multifaisceaux, adaptée pour réaliser des usinages correctifs simultanés de plusieurs pièces en même temps.

Procédé

[0121] L'invention concerne aussi un procédé d'usinage correctif de pièces de microtechnique 10, 10', 10'', 10''' réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique, notamment un procédé de fabrication par série ou par lot, le procédé de fabrication LIGA étant exclu, ledit procédé comprenant les différentes étapes (A-F) consistant à :

A: fournir sur un support de pièces 2 des pièces 10, 10' réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique, notamment un procédé de fabrication par série ou par lot; le substrat de formation des pièces peut être utilisé comme support de pièces.

B: se munir de l'équipement d'usinage correctif , comme décrit ci-dessus, et insérer au moins un dudit support de pièces 2 dans ladite machine d'usinage 200;

C: enregistrer une géométrie cible prédéterminée propre à chaque pièce 10, 10' positionnée sur ledit support de pièces 2 par rapport à un repère de référence 20, 20', 20'', 20''', 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 ;

D: reconnaître, dans ledit repère de référence, la géométrie 3D des pièces 10, 10', réalisées préalablement par le procédé de fabrication de microtechnique, notamment par série ou par lot, et déterminer une correction de la géométrie à apporter par rapport à ladite géométrie cible enregistrée à l'aide dudit système de vision 120 et de ladite unité de calcul 130;

E: exécuter des étapes d'usinages correctifs desdites pièces 10, 10' par lesdits moyens d'usinage sans force qui sont, avant l'usinage correctif de chaque pièce 10, 10' déplacés et positionnés dans le repère de référence par rapport à ladite pièce 10, 10' à corriger, et pour réaliser l'usinage correctif en fonction de ladite correction de la géométrie déterminée à l'étape **D**, de manière à obtenir ladite géométrie cible;

F: libérer au moins une desdites pièces 10, 10' de leur support 2.

[0122] Dans des modes de réalisation l'étape **C** de l'enregistrement de la géométrie peut comprendre l'enregistrement d'une position X-Y-Z de référence des pièces 10, 10' dans le repère de référence.

[0123] Dans ce mode de réalisation, l'étape **D** de reconnaissance des géométries des pièces et de détermination de la correction de la géométrie peut comprendre également la reconnaissance du positionnement des pièces 10, 10' dans le repère de référence, par exemple la reconnaissance de la position d'une partie particulière de la pièce comme son centre ou un coin ou autre aspect particulier des pièces 10, 10', et la détermination de la correction de la géométrie à apporter par rapport à la position X-Y-Z de référence enregistrée à l'aide dudit système de vision 120 et de ladite unité de calcul 130.

[0124] Dans un mode d'exécution, le repère de référence est prévu sur ledit support de pièces ou le substrat si celui-ci est conservé pour faire office de support de pièces.

[0125] Dans un mode d'exécution avantageux, le repère de référence prévu sur ledit support 2 a été transféré du substrat 1 dans lequel ont été réalisées les pièces 10, 10' par un procédé de fabrication de microtechnique, notamment par série ou par lot.

[0126] Une fois les pièces 10, 10' chargées et référencées sur la table X-Y-Z de la machine d'usinage 200, la cadence d'usinage de correction des pièces 10, 10' agencées sur un support de pièces 2 est dictée par le temps d'usinage de correction, par exemple par le temps d'usinage de correction du trou - typiquement 0.5 à 1.5 sec. Pour des pièces 10, 10' de 0.9 mm de diamètre extérieur, plus de 8'000 pièces 10, 10' peuvent être arrangées sur un support rond de 150 mm de diamètre. Le chargement et déchargement des supports de pièces 2 est extrêmement aisé, et même s'il n'est pas rapide, le temps est divisé par le nombre de pièces 10, 10' par support 2. Un système de chargement automatique de supports de pièces 2 permet de faire fonctionner la machine d'usinage de façon complètement autonome pendant de très longues périodes, malgré un temps de cycle d'usinage correctif des pièces qui est typiquement inférieur à 1 seconde.

[0127] Dans un exemple typique, le système de vision 120 procède par la prise de vue de chacune des pièces 10, 10' individuellement. Dans un mode de mise en œuvre particulièrement avantageux, afin de reconstituer rapidement la géométrie, et -dans un autre mode de réalisation- les positions X-Y-Z, de toutes les pièces 10, 10', le système de vision 120 procède par la prise de vue successive de la géométrie et -dans un autre mode de réalisation- des positions X-Y-Z, d'ensembles de 10 à 15 pièces.

[0128] D'une manière particulièrement avantageuse, la mesure de la forme et/ou des positions des pièces 1, selon l'étape D de la reconnaissance de la forme des pièces 10, 10' et/ou de leurs positions X-Y-Z, peut comprendre les mesures successives de la forme et/ou des positions des pièces 10, 10' d'au moins 2 ensembles par rapport à un même repère de référence. Lesdits ensembles pouvant avoir des pièces 10, 10' en commun, lesdites mesures successives pouvant se recouvrir partiellement, et le traitement desdites mesures successives par les moyens de traitement de l'équipement d'usinage correctif pour obtenir un enregistrement reconstituant la forme 3D et/ou des positions X-Y des pièces 10,10' desdits au moins 2 ensembles réunis, et de préférence de toutes les pièces 10, 10' fixées sur ledit support de pièces 2.

[0129] Dans un exemple typique, le système de vision procède par la prise de vue de chacune des pièces 10, 10' individuellement. Dans un exemple avantageux, afin de reconstituer la forme 3D et/ou la position X-Y-Z de toutes les pièces 10, 10' , le système de vision procède par la prise de vue successive de 10 à 15 pièces 10, 10'.

[0130] L'ensemble de pièces 10, 10' peut être constitué de pièces 10, 10' de même type ou de type différent, comme illustré en Figure 16 qui montre deux séries 1000, 1200 de pièces différentes fixées sur le même support de pièces 2. Selon le type de pièces à usiner le procédé de l'usinage correctif peut être adapté.

[0131] Dans une variante du procédé, lors de l'étape **E**, le positionnement du moyen d'usinage sans force 100, relatif auxdites pièces 10, 10', se fait par un déplacement dans un plan X-Y ou dans l'espace X-Y-Z dudit moyen d'usinage sans force 100.

[0132] Dans une autre variante, lors de l'étape **E**, le positionnement du moyen d'usinage sans force relatif auxdites pièces 10, 10' se fait par un déplacement dudit support de pièces 2.

[0133] Il est aussi possible que, lors de l'étape **E**, le positionnement du moyen d'usinage sans force se fasse par un déplacement dudit laser 100 et aussi dudit support de pièces 2. Ces deux déplacements ne doivent pas forcément être simultanés.

[0134] Dans un mode de réalisation, l'étape **D** de reconnaissance de la géométrie, et - dans un autre mode de réalisation- de la position X-Y-Z, des pièces 10, 10' est réalisée successivement pour toutes les pièces 10, 10' juste avant leur usinage correctif.

[0135] Dans une variante, au moins une étape de nettoyage des pièces 10, 10' est effectuée entre deux cycles d'usinage correctif des pièces 10, 10'.

[0136] Dans un mode d'exécution, l'étape **E** d'usinage correctif comprend au moins la correction d'une ouverture 10a, 10b, 10c, 12 réalisée au préalable dans au moins une de ladite pluralité de pièces 10, 10'.

[0137] Les supports de pièces 2 peuvent être de toutes les formes, typiquement rectangulaires, carrées ou circulaires. De façon préférentielle, le support est un film flexible réalisé dans un polymère. Un exemple est donné dans l'image de la Figure 20. Dans ce cas le film est tenu dans un cadre comme support. Le support 2 peut être, par exemple, un film adhésif communément utilisé dans l'industrie microélectronique et connu sous le nom du terme anglais „tape“. Ce type de film est utilisé dans cette industrie pour permettre le sciage, l'usinage ou l'amincissement des wafers, par exemple.

[0138] Le support de pièces 2 peut être un support transparent en verre, par exemple fait en verre borosilicate. Le support de pièces 2 peut être une plaquette, appelée couramment wafer en anglais, en matériau semiconducteur, en alliage métallique, en matériau céramique ou autre matériau.

[0139] Dans un mode de réalisation, le support de pièces 2 peut être une combinaison des supports décrits ci-dessus.

[0140] Si le support de pièces 2 est un film en polymère, l'usinage des pièces 10,10' peut être accompagné d'un perçage du support 2. Par exemple, lors d'un élargissement d'un trou, un laser peut percer le support de pièces 2 et ainsi plus facilement évacuer le métal enlevé des pièces 10, 10'.

[0141] Si le support de pièces 2 est fait en un matériau dur et comprenant un film d'adhérence, les supports de pièces 2 peuvent être percés. En utilisant des supports de pièces 2 qui sont percés, avec des ouvertures prévues à chaque position destinée à positionner les pièces 10, 10', on permet de faciliter l'usinage correctif des pièces ainsi que leur libération. Effectivement, lors de l'usinage correctif des pièces (étape E du procédé décrit) le fait d'avoir une ouverture sous chaque pièce métallique permet de facilement traverser le film adhérent du support de pièces 2 qui sera percé, formant une ouverture dans le film adhérent. Ainsi, le matériau de la pièce 10, 10' ainsi que celui du film adhérent peuvent être évacués à travers l'ouverture du support dur de pièces 2 qui se trouve sous la pièce 10, 10'. Cette évacuation peut se faire par aspiration ou par un système de pressurisation.

[0142] Dans des variantes, ledit film d'adhérence peut être une couche semi-adhérente ou adhérente telle qu'une bande à collage double face, par exemple un film en polymère, qui est fixée sur un support de pièces 2. Certains types de films adhérents utilisés en microtechnique permettent d'assurer une force d'adhérence sans devoir utiliser des colles. Ces films sont couramment appelés „blue tapes“ et connus par l'homme du métier en microtechnique.

[0143] Dans des variantes certains supports de pièces 2 peuvent être configurés et déployés afin d'assurer une force d'adhérence par un autre mécanisme différent de la technique illustré dans les étapes de la Figure 1, par exemple:

- des effets et forces magnétiques;
- des effets et forces électrostatiques;
- aspiration;
- forces de friction;
- pression de gaz;
- tenue par congélation d'un film d'eau

[0144] Toutefois, il est aussi possible de fixer temporairement les pièces avec des colles temporaires solubles à l'eau ou dans différents solvants. Dans des variantes on peut aussi appliquer des colles temporaires qui changent d'état par traitement thermique ou par rayonnement ultraviolet (UV) ou par rayonnement infrarouge (IR).

[0145] Avantageusement, dans une variante, un système d'usinage sans force, utilisant un laser 100, peut comprendre une optique délivrant plus qu'un faisceau laser, typiquement 2, 4, 9, 16 ou plus de faisceaux. Ceci permet l'usinage simultané de plusieurs pièces 10, 10' en même temps.

[0146] Avec un élément optique adapté, il est possible de réaliser presque n'importe quelle correction de pièces 10, 10' assurant une grande homogénéité et une efficacité globale élevée. En combinant un système multifaisceaux avec au moins un scanner galvanométrique, il est possible de générer un grand nombre de points de traitement dans le plan de traitement, qui sont déplacés simultanément sur la pièce 10, 10' par ledit scanner.

[0147] La société Pulsar Photonics par exemple, dont référence est trouvée sous le site internet https ://www.pulsar-photonics.de/, offre une solution d'un balayeur multifaisceau pour le traitement multifaisceaux laser. Un tel système comprend au moins un balayeur de faisceau basé sur un système galvano. Une division de faisceau sélectionnable avec un module multifaisceau génère un arrangement de faisceau fixe dans le plan de travail du système de balayage. Cette approche permet de multiplier la vitesse du processus dans la production de structures périodiques.

[0148] Grâce à un séparateur de faisceau diffractif, la puissance du système laser peut être divisée en jusqu'à 100 faisceaux partiels et plus. Des distributions typiques des faisceaux peuvent être, sans limitation : 2×2, 4×4, 8 x8, où n x m ou n et m sont des nombres différents. Il est compris que les faisceaux lasers peuvent être différents, par exemple ils peuvent avoir une focale différente.

[0149] L'utilisation d'un système multifaisceaux permet de réaliser une production parallèle efficace de structures identiques en une seule étape.

[0150] Il est ainsi possible de surmonter les limitations de puissance, essentiellement d'origine physique, de nombreux procédés „ultra short pulse“ et d'augmenter ainsi considérablement l'efficacité des procédés.

[0151] Les domaines d'application sont le perçage, le traitement parallèle de plusieurs composants ou la parallélisation générale des processus.

[0152] La libération des pièces 10, 10', fixées au support de pièces 2 peut se faire de diverses manières, par exemple par des solvants ou via traitement thermique ou exposition UV. Une exposition à des radiations peut, par exemple, provoquer la libération de gaz aux interfaces de collage. La libération peut aussi se faire par exposition à de la chaleur ou des flashes de radiations infrarouges. Ladite radiation UV et/ou infrarouge peut être réalisée par des sources de puissances pulsés. La libération des pièces 10, 10' peut également se faire par pliage et cassure du substrat ou du support de pièces, comme illustré en Figure 4 et 5. La Figure 4 illustre une variante où les pièces à corriger sont tenues ensemble mais présentent une ligne de cassure dans la partie qui relie les pièces.

[0153] Dans des variantes, l'étape **F** de libération des pièces 10, 10' peut se faire de diverses manières :

- par application de vibration et/ou de chocs ;
- par raclage mécanique ;
- par l'utilisation d'un bras ou robot de „pick and place“ ;
- par voie liquide et/ou ultrasonique ;
- par soufflage par de l'air ou autre gaz.

Technique de réalisation sur des supports de pièces 2

[0154] Quelques modes de réalisation des pièces 10,10' réalisées par un procédé de fabrication de microtechnique, notamment par série ou par lot, excluant le procédé LIGA, sur un support de pièces 2 sont commentés ci-après.

[0155] Dans un premier mode de réalisation le positionnement des pièces 10, 10' les unes par rapport aux autres ainsi que par rapport à des marques de référence est connu, car les pièces restent durant tout le process dans la même position que leur position d'origine sur le substrat de base 1. Le substrat 1 est généralement une plaque-support de verre, de métal ou de silicium.

[0156] Dans un mode de réalisation, un film de transfert, qui est le support de pièces 2, est appliqué sur une face d'un substrat. Les pièces 10, 10' sont liées entre elles par le film de transfert faisant office de support de pièce 2. Un film de transfert est illustré en Figure 19.

[0157] Les pièces 10, 10' se retrouvent ainsi dans la même position dans le plan X-Y que lors de la fabrication de la structuration, que ce soit par étampage ou par procédé de photolithographie ou un autre procédé.

[0158] Dans un mode de réalisation un support de pièce 2 constitue un film flexible, qui est illustré en Figure 18 et Figure 19. Dans ce cas le film est tenu par un cadre afin de pouvoir le charger et décharger de la machine d'usinage. Après l'usinage de correction des pièces, les pièces peuvent être libérées de leur support 2 par exemple en pliant, par une force F2, le support de pièces 2 tel qu'illustré en Figure 5.

[0159] Dans un autre mode de réalisation, le support de pièces 2 comprend le substrat de base 1 et une couche polymère ou de résine pour la réalisation des pièces 10, 10'. Après l'usinage de correction des pièces 10, 10', elles peuvent être libérées selon différentes méthodes, par exemple soit par découpe ou soit en dissolvant la couche polymère ou de résine qui fait office de couche d'adhérence des pièces 10, 10' sur le substrat 1.

[0160] Dans un autre mode de réalisation, le procédé de fabrication précédant l'usinage de correction est adapté afin de réaliser des lignes de ruptures 11a, 11b, 11c, 11d comme illustré en Figure 4. Ces lignes de ruptures permettent de séparer aisément les pièces 10, 10' les unes des autres après l'usinage de correction.

[0161] Il est compris également que l'équipement d'usinage sans force peut être adapté pour réaliser un premier cycle d'usinage et que les pièces 10, 10' soient finies par un autre procédé comme un procédé mécanique ou chimique. Par exemple, des pièces 10, 10' percées peuvent être traitées à l'intérieur ou en dehors de la machine d'usinage 200 afin de les nettoyer ou pour un traitement de lissage par plasma exécuté sur toutes les pièces 10, 10' sur un support de pièces 2. Il est compris également que, dans un mode de réalisation, la machine d'usinage 200 peut comprendre des moyens pour déposer un revêtement (coating) sur les pièces 10, 10' avant ou après leur usinage correctif.

[0162] Dans un mode de réalisation avantageux, toutes les pièces 10, 10' peuvent subir une première étape usinage qui peut être une étape de préparation de la surface exécutée par exemple par ledit laser à impulsion femtosecondes. Dans une variante, l'ensemble des pièces 10, 10' peut subir une étape de nettoyage et/ou dépôt d'une couche.

[0163] Déposer une couche avant usinage par le laser femtoseconde permet de mieux délimiter la zone d'usinage correctif. Cette couche peut être enlevée après le procédé d'usinage correctif.

[0164] Il est compris que les conditions d'usinage peuvent être adaptées selon l'emplacement (c.à.d. tiroir) d'un système de cassettes 300 de l'équipement d'usinage correctif de l'invention. Ainsi, un premier tiroir peut comprendre un support

2 avec des pièces 10, 10' dans lesquelles il faut corriger un trou et un autre tiroir peut comprendre un autre support avec des pièces dont la surface doit être corrigée ou sur laquelle une forme prédéterminée doit être exécutée.

[0165] Dans un mode de réalisation, le support de pièces 2 dans un tiroir d'un système à cassettes 300 peut subir plusieurs cycles d'usinage. Par exemple, lors d'un premier cycle toutes les pièces 10, 10' sont usinées pour présenter un trou et lors d'un deuxième chargement de supports de pièces 2 dans la machine d'usinage 200, tous les supports de pièces 2 peuvent être repassés dans la machine d'usinage afin de corriger un trou et/ou corriger par exemple un bord des pièces 10, 10'.

[0166] Dans un mode de réalisation, lors d'au moins un deuxième cycle d'usinage, au moins un autre type de laser peut être utilisé. Ce laser peut être un deuxième et un autre laser femtoseconde.

[0167] Selon l'application il est compris que les pièces 10, 10' ne doivent pas forcément être agencées d'une manière homogène sur leur support de pièces 2. Par exemple, les pièces 10, 10' peuvent être agencées selon un arrangement en forme de disque ou rectangle.

[0168] Dans un mode de réalisation les pièces 10, 10' peuvent être fixées des deux côtés d'un support de pièces 2, par exemple par collage temporaire. Un agencement double face (pas illustré dans les Figures) permet d'augmenter, par exemple d'un facteur 2, la vitesse d'usinage par la machine d'usinage 200 de l'invention.

[0169] Il est entendu qu'un système d'inspection peut être utilisé pour suivre les dimensions des pièces usinées et pour adapter les paramètres d'usinage de la machine laser afin de permettre une production autonome et plus précise.

Pièces de microtechnique réalisées

[0170] Il n'y a aucune limitation de forme, de dimension 2D ou 3D, ou de composition, des pièces 10, 10' réalisées par l'équipement et le procédé de l'invention.

[0171] Les pièces 10, 10' sont typiquement de dimension millimétrique ou micrométrique. L'usinage par laser femtoseconde permet des précisions d'usinage correctif très élevées, typiquement plus petites que ±1 µm. Les rugosités de surface en mode micro-usinage peuvent atteindre des rugosités de 50nm ou inférieure.

[0172] Dans un mode de réalisation une pièce de microtechnique 10, 10', est obtenue par le procédé décrit et comprend au moins une portion qui présente, entre les dimensions de la pièce corrigée et de la géométrie cible, un écart inférieur à 2 µm, préférablement inférieur à 1.5 µm.

[0173] Dans un autre mode de réalisation au moins deux surfaces de ladite pièce de microtechnique 10, 10' ont été corrigées avec le procédé selon l'invention.

[0174] Les Figures 12-15 illustrent des pièces réalisées par l'équipement de correction de pièces et le procédé selon l'invention.

[0175] La Figure 12 représente une pièce 10 comprenant des structures faites dans 3 plans différents P1, P2, P3 et comprenant des ouvertures 10a, 10b, 10c corrigées avec le procédé et l'équipement d'usinage selon l'invention.

[0176] La figure 13 montre une ancre d'horlogerie réalisée selon le procédé de l'invention.

[0177] La figure 14 montre une roue dentée d'horlogerie réalisée selon le procédé de l'invention.

[0178] La figure 15 montre une pièce de connectique réalisée selon le procédé de l'invention. La pièce 10 illustrée en Figure 15 peut comprendre au moins une surface 10e, 10d qui a été corrigée avec le procédé et l'équipement d'usinage selon l'invention.

Exemple d'application et d'une configuration d'un équipement d'usinage correctif de pièces (10, 10') de microtechnique selon l'invention

[0179] L'exemple suivant montre un cas d'application avec des pièces 10, 10' sur des supports de pièces 2 ayant un diamètre 150 mm. Pour des pièces 10, 10' ayant un diamètre de 0.9 mm, on peut réaliser environ 8'000 pièces sur un support de pièces 2 qui est préférablement une plaquette et atteindre des cadences d'usinage correctif d'environ 1 seconde, c'est-à-dire entre 8 et 10 fois inférieures à ce que l'on pourrait obtenir avec une approche conventionnelle.

[0180] Dans une configuration préférée, l'équipement d'usinage correctif comprend :

- un système de chargement/déchargement d'au moins 25 supports de pièces 2, typiquement un système de chargement d'au moins 25 supports de pièces 2;
- un système de mesure 120 capable de mesurer très précisément la géométrie, et -dans un autre mode de réalisation- la position X-Y-Z, de chaque pièce 10, 10';
- une machine d'usinage 200 comprenant un laser femtoseconde.

[0181] Dans l'exemple, 8'000 pièces 10, 10' peuvent être alignées sur un seul support de pièces 2. Le système de charge et décharge est préférablement un système de type „cassette“ comprenant une pluralité de tiroirs, chaque tiroir étant adapté pour contenir un seul support.

[0182] Les différentes opérations peuvent prendre les temps suivants:

- usinage correctif laser par pièce: 0.5 à 0.6 sec;
- repositionnement de la table X-Y: 0.3 sec ;
- charge et décharge par support 2: 120 sec ;
- délais pour les mesures : 60 sec.

[0183] Ceci indique un temps d'usinage correctif et de mesure de pièces 10, 10' typiquement en dessous de 2 secondes, plus précisément 0.92 sec pour l'exemple décrit.

[0184] Dans l'exemple d'exécution le système à cassettes comprendra donc au maximum 25x8000 pièces à usiner, donc maximum 200000 pièces 10, 10'.

[0185] Le procédé et la machine d'usinage 200 de l'exemple permettent d'insérer le support de pièces 2 sous un laser femtoseconde 100 et de corriger toutes les pièces 10, 10' sur un seul support de pièces 2. Quand toutes les pièces 10, 10' fixées sur un support de pièces 2 sont corrigées, il est déchargé vers un tiroir d'un système de cassette 300 associé à la machine d'usinage 200 et on procède à l'usinage correctif des pièces fixées sur un deuxième support de pièces 2', 2'', 2''' et ainsi de suite.

Revendications

1. Equipement d'usinage correctif de pièces (10, 10') de microtechnique réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique, à l'exception d'un procédé de fabrication LIGA, comprenant une machine d'usinage (200) comprenant un système de chargement/déchargement (300) de supports (2) de pièces (10, 10'), des moyens d'usinage sans force pour corriger par usinage, avec ou sans enlèvement de matière, lesdites pièces (10, 10') et un système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force, ladite machine d'usinage (200) définissant un plan horizontal X-Y et un axe vertical Z orthogonal au plan horizontal X-Y, caractérisé en ce que
   – l'équipement d'usinage correctif comprend des supports (2) agencés pour être chargés sur le système de chargement/déchargement (300) de supports (2) de pièces (10, 10') de la machine d'usinage (200) ou pour être déchargés dudit système de chargement/déchargement (300) de supports (2) de pièces (10, 10') de la machine d'usinage (200), chaque support (2) comprenant, au moins sur une face, une surface agencée pour au moins y fixer une pluralité de pièces (10, 10') réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique;
   – l'équipement d'usinage correctif comprend un système d'enregistrement d'au moins une géométrie cible propre à chaque pièce (10, 10') positionnée sur le support (2) par rapport à un repère de référence physique, ledit système d'enregistrement desdites géométries cibles étant agencé pour coopérer avec le système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force ;
   – l'équipement d'usinage correctif comprend un système de vision (120) permettant de reconnaitre, dans ledit repère de référence, la géométrie 3D des pièces (10, 10') réalisées préalablement par le procédé de microtechnique et une unité de calcul (130) permettant de comparer la géométrie reconnue par rapport à la géométrie cible et de déterminer une correction de la géométrie à apporter par rapport à ladite géométrie cible enregistrée, au moins l'unité de calcul étant agencée pour coopérer avec le système de pilotage des moyens d'usinage sans force;
   – ledit système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force comprend un système de positionnement desdits moyens d'usinage sans force agencé pour, avant l'usinage correctif de chaque pièce (10, 10'), déplacer et positionner lesdits moyens d'usinage sans force dans le repère de référence par rapport à ladite pièce (10, 10') à corriger et pour réaliser l'usinage correctif en fonction de ladite correction de la géométrie, de manière à obtenir de ladite géométrie cible.
2. Equipement d'usinage correctif selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens d'usinage sans force comprennent un émetteur (100) d'une onde électromagnétique.
3. Equipement d'usinage correctif selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'émetteur (100) est configuré pour émettre une onde électromagnétique ayant une longueur d'onde entre 150nm et 1mm, préférablement entre 200nm et 15µm, encore plus préférablement entre 300nm et 5µm.
4. Equipement d'usinage correctif selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'émetteur (100) est un laser.
5. Equipement d'usinage correctif selon la revendication 4, caractérisé en ce que ledit laser (100) est un laser femtoseconde, configuré pour émettre des impulsions ayant une durée de moins de 900 femtosecondes, préférablement moins de 250 femtoseconde.

6. Equipement d'usinage correctif selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'au moins un repère est présent sur lesdits supports (2) de pièces (10, 10'), ce repère étant utilisé comme repère de référence lorsque lesdits supports (2) de pièces (10, 10') sont chargés dans le système de chargement/déchargement (300) de supports (2) de pièces (10, 10') de la machine d'usinage (200).
7. Equipement d'usinage correctif selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'au moins un repère est présent sur au moins une desdites pièces (10, 10'), ce repère étant utilisé comme repère de référence lorsque lesdites pièces (10, 10') fixées sur leur support sont chargées dans le système de chargement/déchargement (300) de supports (2) de pièces (10, 10') de la machine d'usinage (200).
8. Equipement d'usinage correctif selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'au moins un repère de référence est présent sur la machine d'usinage (200).
9. Equipement d'usinage correctif selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le support (2) de pièces (10, 10') est un substrat (1) sur lequel ont été préalablement réalisées lesdites pièces (10, 10') par le procédé de fabrication de microtechnique.
10. Equipement d'usinage correctif selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le système de vision est agencé pour réaliser une mesure de géométrie 3D avec une précision inférieure à 10 µm, de préférence inférieure à 5 µm, plus préférentiellement inférieure à 2 µm, dans au moins un des 3 axes X, Y, Z.
11. Equipement d'usinage correctif selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le support (2) est agencé pour porter au moins deux ensembles contenant des pièces (10, 10') de types différents.
12. Equipement d'usinage correctif selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que la machine d'usinage (200) comprend un système pour libérer, après leur usinage correctif, au moins une partie des pièces (10, 10') de leur support (2).
13. Equipement d'usinage correctif selon l'une des revendications 2 à 12, caractérisé en ce que ledit système de positionnement comprend un système optique à 5 axes, agencé pour coopérer avec le système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force (100), pour pouvoir orienter l'onde électromagnétique (110) émise dans les 3 dimensions X-Y-Z.
14. Equipement d'usinage selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que ledit système de pilotage desdits moyens d'usinage sans force (100) est agencé pour usiner au moins une portion des pièces (10, 10') selon différentes étapes d'usinage.
15. Equipement d'usinage correctif selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que chaque support (2) est agencé pour recevoir plus de 10, de préférence plus de 100, de préférence plus de 1000, préférablement plus de 5000 pièces (10, 10').
16. Procédé d'usinage correctif de pièces de microtechnique (10, 10') réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique à l'exception d'un procédé de fabrication LIGA, ledit procédé comprenant les différentes étapes (**A-F**) consistant à :
A: fournir, sur un support de pièces (2), des pièces (10, 10') réalisées préalablement par un procédé de fabrication de microtechnique à l'exception d'un procédé de fabrication LIGA;
B: se munir de l'équipement d'usinage correctif selon l'une des revendications 1 à 15 et insérer au moins un dudit support de pièces (2) dans ladite machine d'usinage (200);
C: enregistrer une géométrie cible propre à chaque pièce (10, 10') positionnée sur ledit support de pièces (2) par rapport à un repère de référence physique (20-20''', 21-28);
D: reconnaître, dans ledit repère de référence (20-20''', 21-28), la géométrie 3D des pièces (10, 10'), réalisées préalablement par le procédé de fabrication de microtechnique, et déterminer une correction de la géométrie à apporter par rapport à ladite géométrie cible enregistrée à l'aide dudit système de vision (120) et de ladite unité de calcul (130);
E: exécuter des étapes d'usinages correctifs desdites pièces (10, 10') par lesdits moyens d'usinage sans force (100), qui sont, avant l'usinage correctif de chaque pièce (10, 10'), déplacés et positionnés dans le repère de référence par rapport à ladite pièce (10, 10') à corriger, afin de réaliser l'usinage correctif en fonction de ladite correction de la géométrie déterminée à l'étape D pour obtenir ladite géométrie cible;
F: libérer au moins une desdites pièces (10, 10') de son support (2).
17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que l'étape C d'enregistrement comprend l'enregistrement d'au moins une position X-Y-Z de référence propre à chaque pièce (10, 10') dans le repère de référence.
18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que l'étape D de reconnaissance des pièces comprend la reconnaissance du positionnement des pièces (10, 10') dans le repère de référence et la détermination de la correction de la géométrie à apporter par rapport à ladite position X-Y-Z de référence enregistrée à l'aide dudit système de vision et de ladite unité de calcul.
19. Procédé selon l'une des revendications 16 à 18, caractérisé en ce qu'au moins un repère est présent sur lesdits supports (2) de pièces (10, 10'), ce repère étant utilisé comme repère de référence (20-20''', 21-28) lorsque lesdits support (2) de pièces (10, 10') sont chargés dans le système de chargement/déchargement (300) de supports (2) de pièces (10, 10') de la machine d'usinage (200).

20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que le repère présent sur ledit support de pièces (2) a été transféré du substrat (1) dans lequel ont été préalablement réalisées les pièces (10, 10') par le procédé de fabrication de microtechnique.
21. Procédé selon l'une des revendications 16 à 20, caractérisé en ce qu'au moins un repère est réalisé sur au moins une surface d'au moins une pièce (10, 10'), ce repère étant utilisé comme repère de référence (20-20''', 21-28) lorsque lesdites pièces (10, 10') fixées sur leur support sont chargées dans le système de chargement/déchargement (300) de supports (2) de pièces (10, 10') de la machine d'usinage (200).
22. Procédé selon l'une des revendications 16 à 21, caractérisé en ce que ledit support de pièces (2) est un film de transfert réalisé au moins partiellement en un polymère.
23. Procédé selon l'une des revendications 16 à 18, caractérisé en ce que ledit support de pièces (2) est un substrat (1) sur lequel ont été préalablement réalisées lesdites pièces (10, 10') par le procédé de fabrication de microtechnique.
24. Procédé selon l'une des revendications 16 à 23, caractérisé en ce qu'au moins un repère de référence est présent sur la machine d'usinage (200).
25. Pièce de microtechnique (10, 10'), obtenue par le procédé selon l'une des revendications 16 à 24, caractérisée en ce qu'au moins deux surfaces de ladite pièce de microtechnique (10, 10') ont été corrigées avec le procédé selon l'une des revendications 16 à 24.

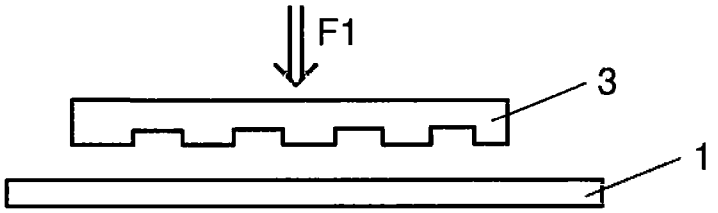


Fig. 1

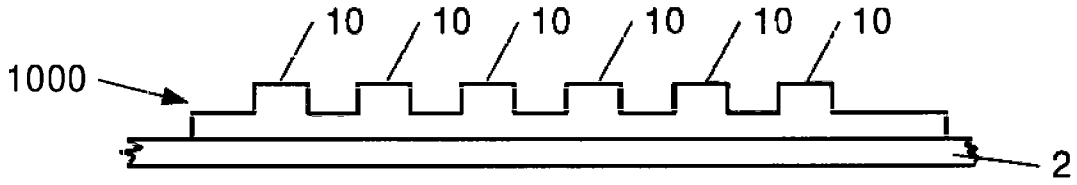


Fig. 2

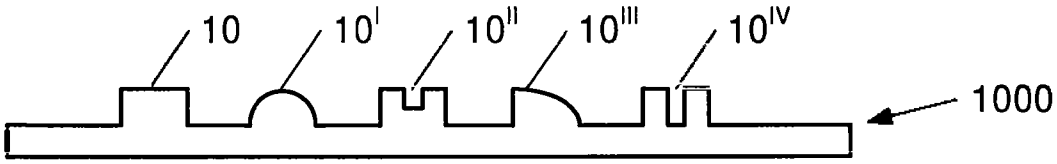


Fig. 3

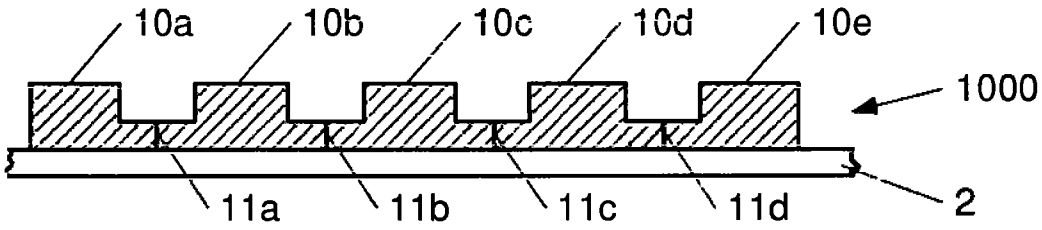


Fig. 4

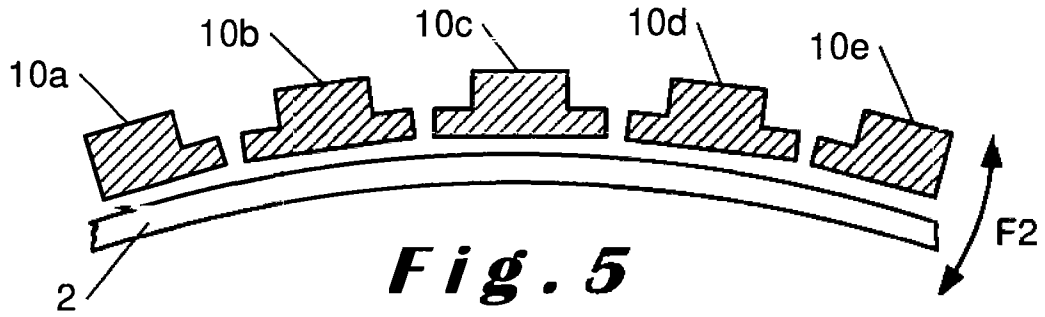


Fig. 5

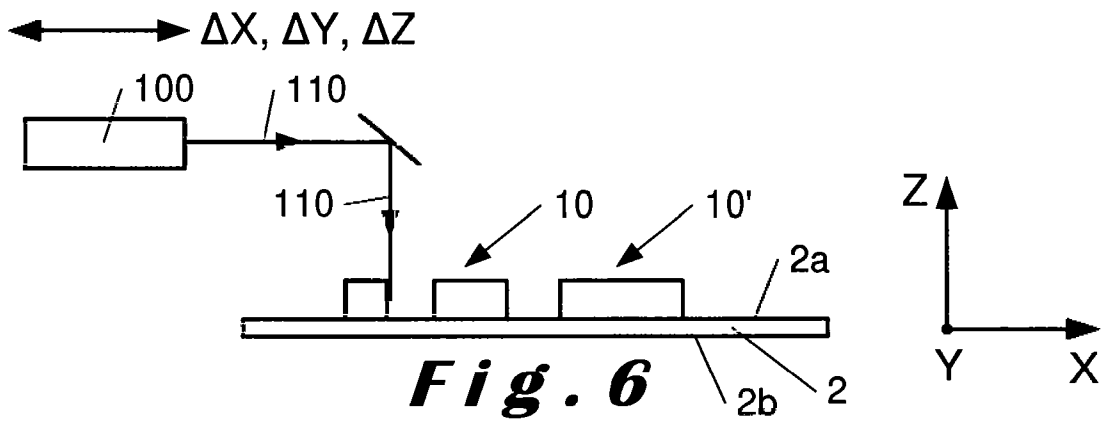

ΔX, ΔY, ΔZ
100
110
110
10
10'
2a
2b
2
Z
Y
X

Fig. 6

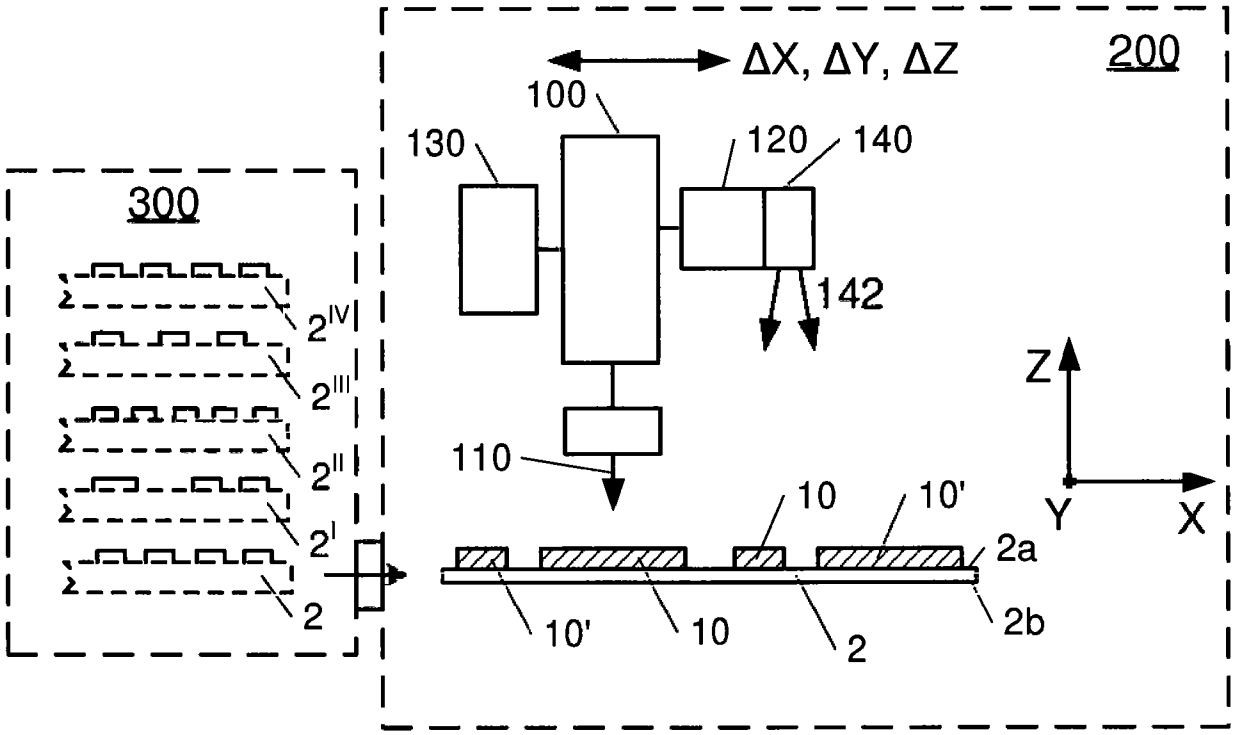

ΔX, ΔY, ΔZ
200
100
130
120
140
142
300
2IV
2III
2II
2I
2
110
10
10'
2a
2b
10'
10
2
Z
Y
X

Fig. 7

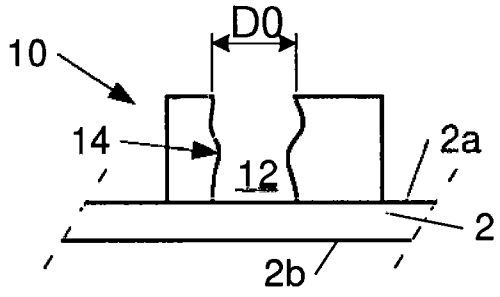


Fig. 8

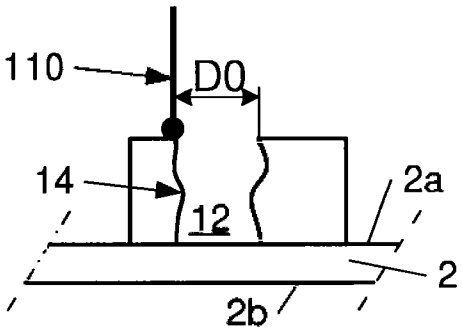


Fig. 9

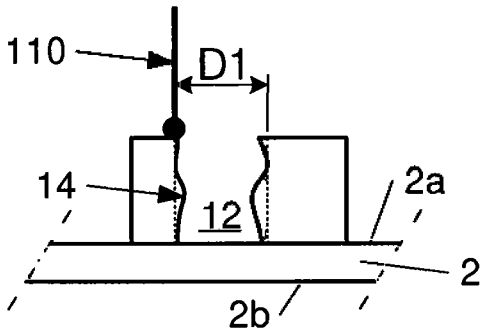


Fig. 10

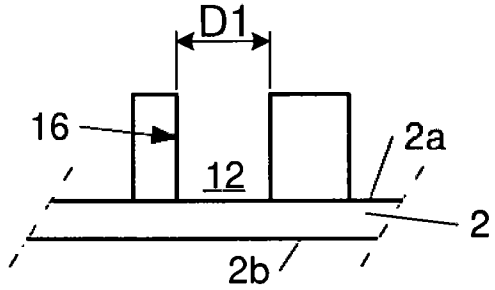


Fig. 11

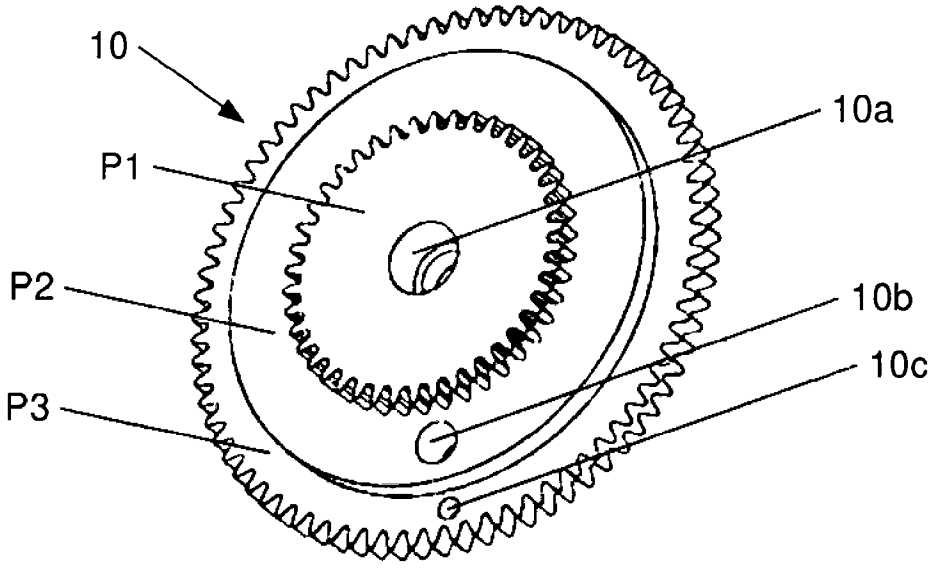


Fig. 12

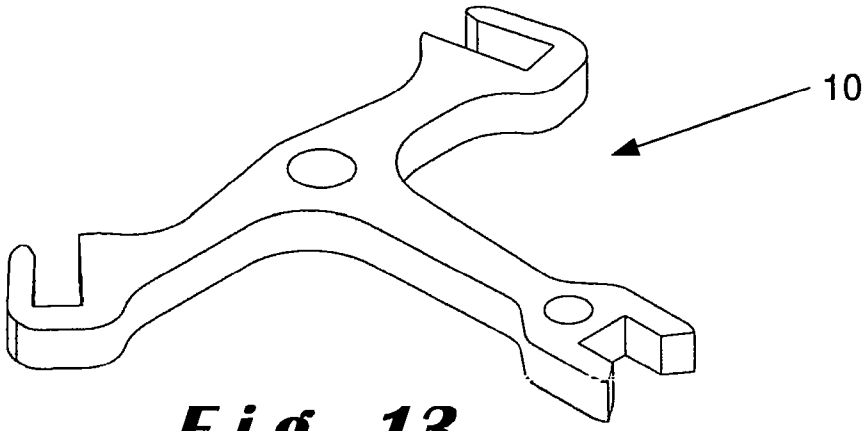


Fig. 13

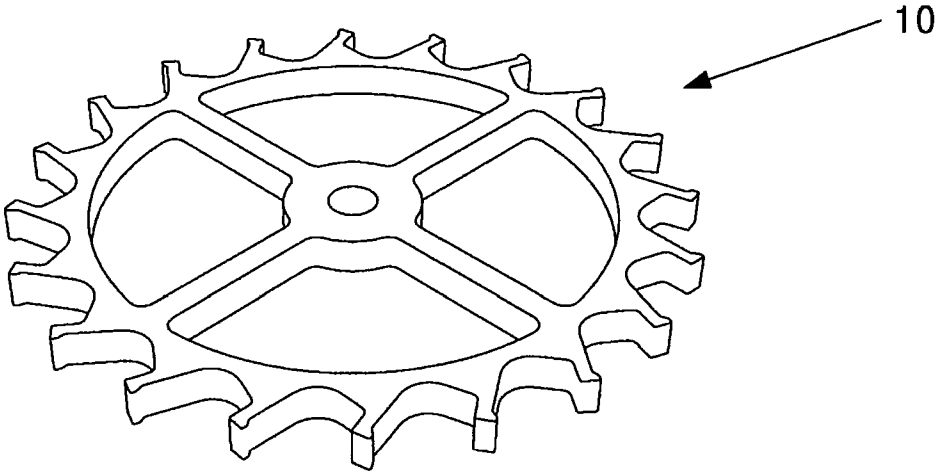


Fig. 14

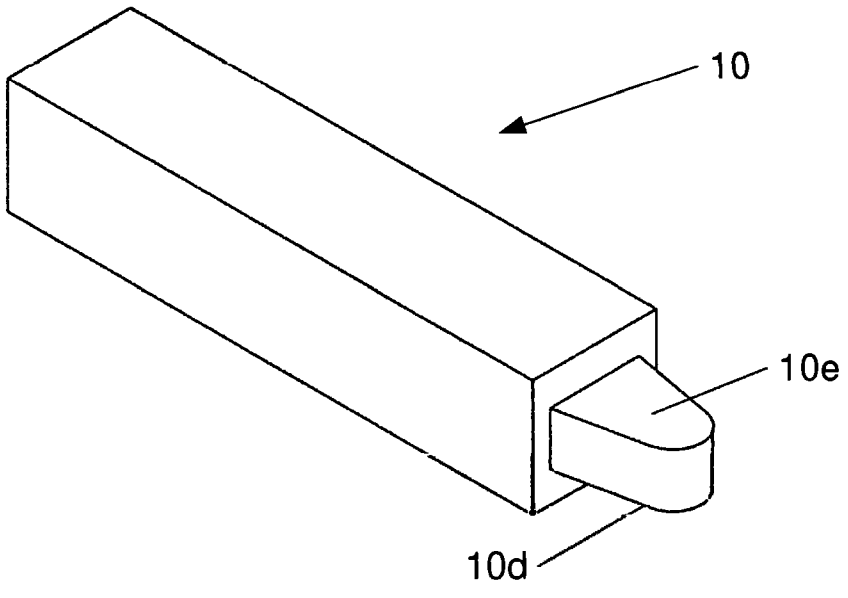


Fig. 15

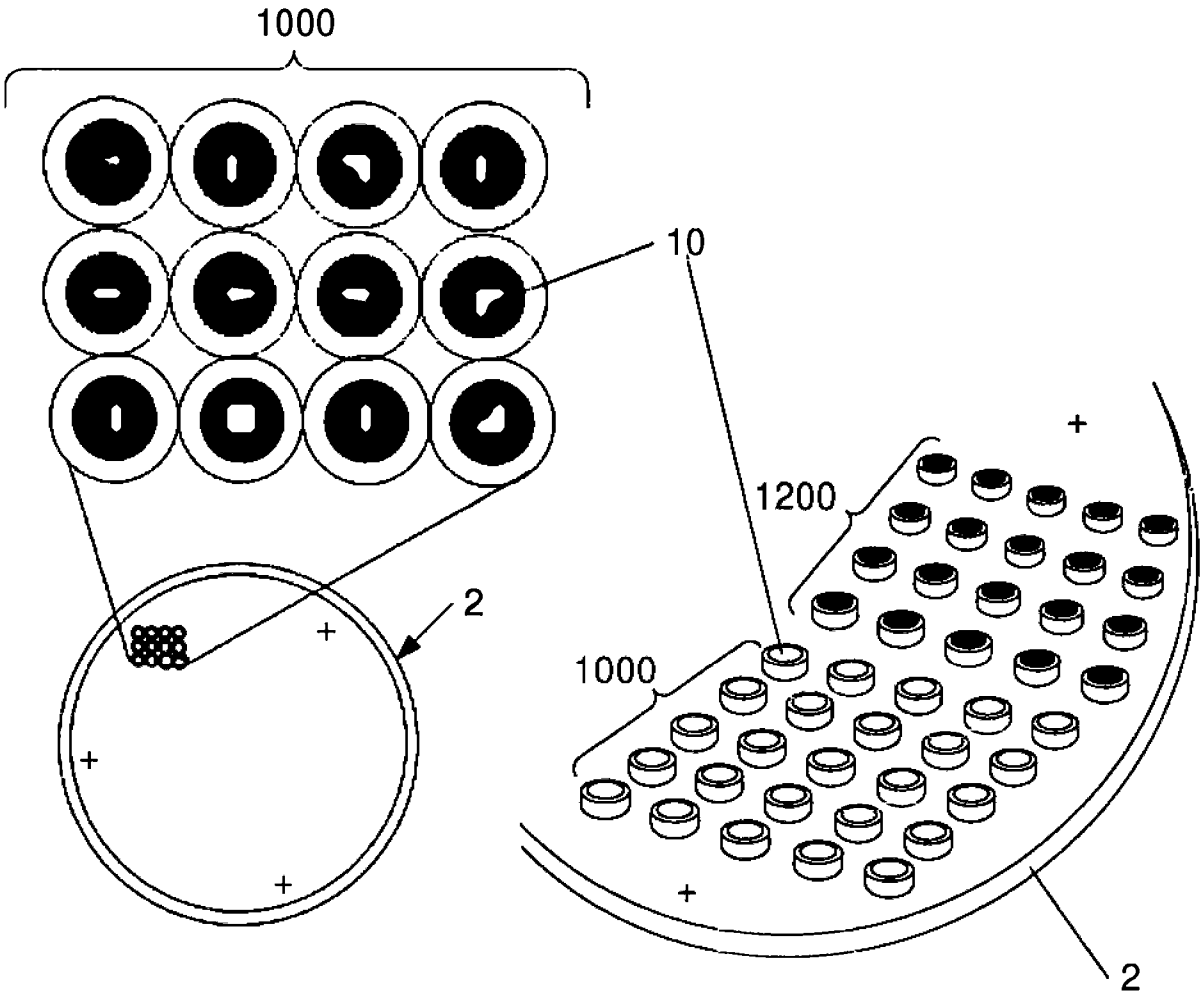


Fig. 16

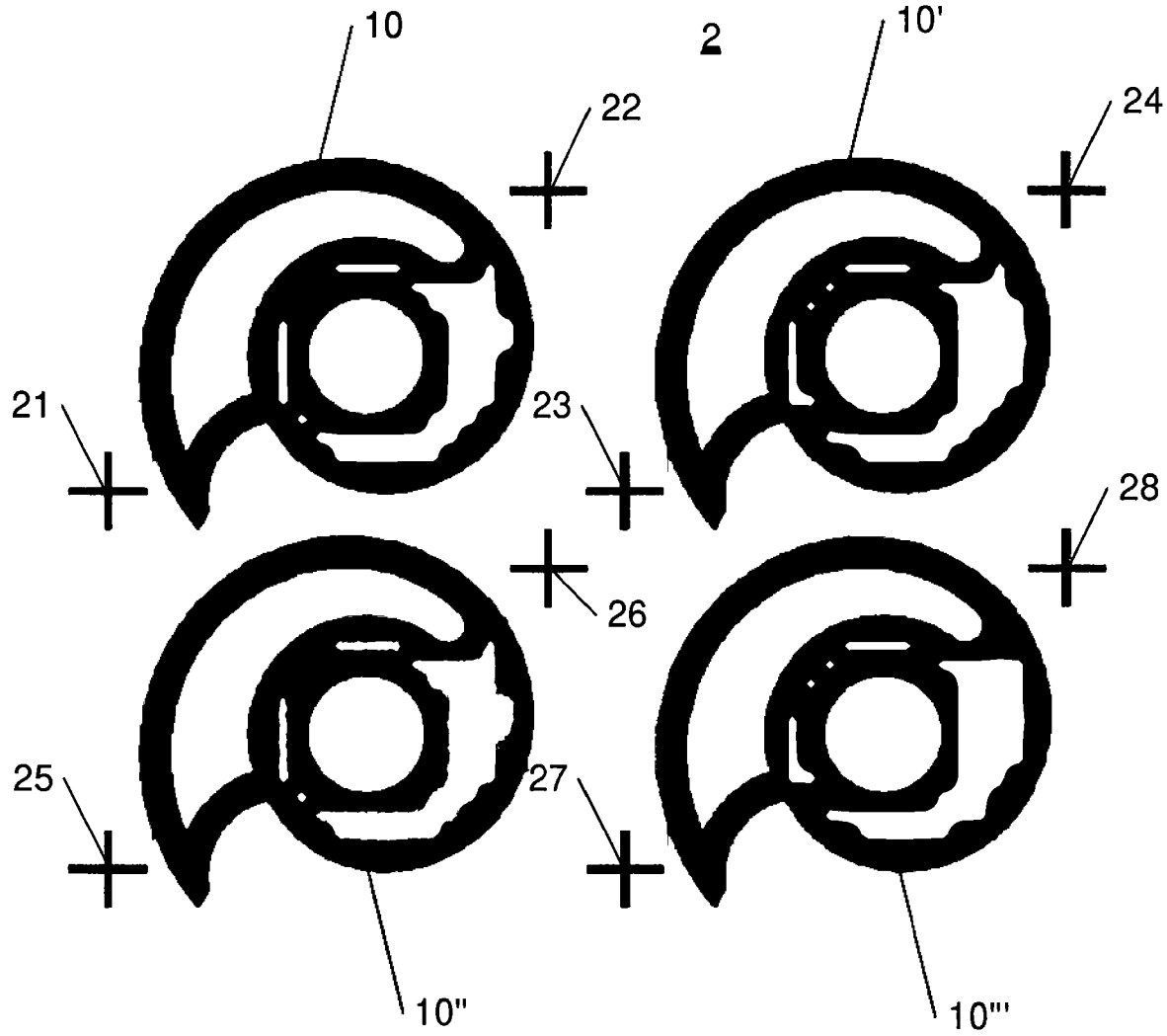


Fig. 17

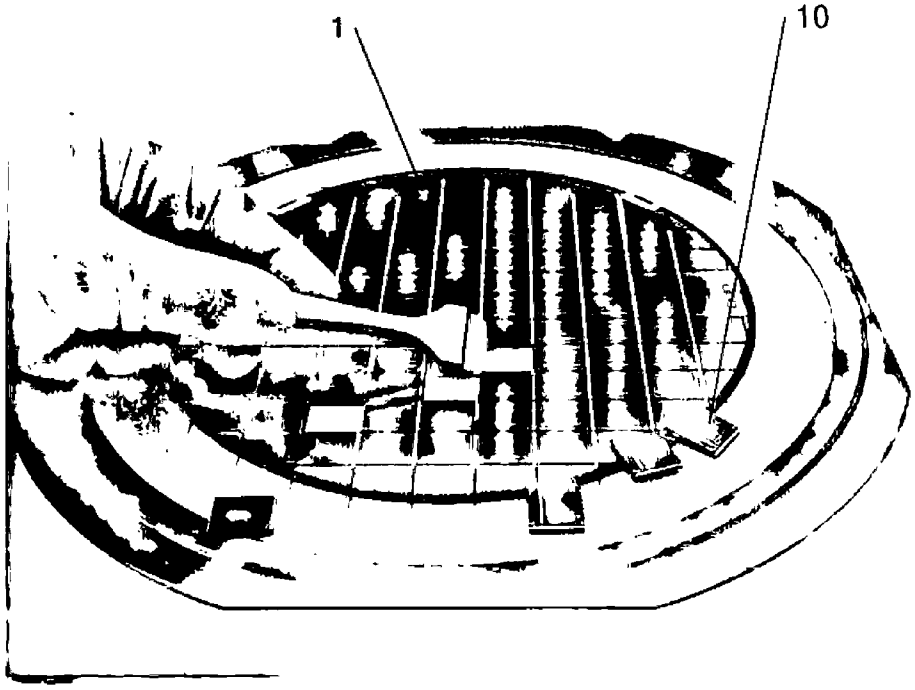


Fig. 18

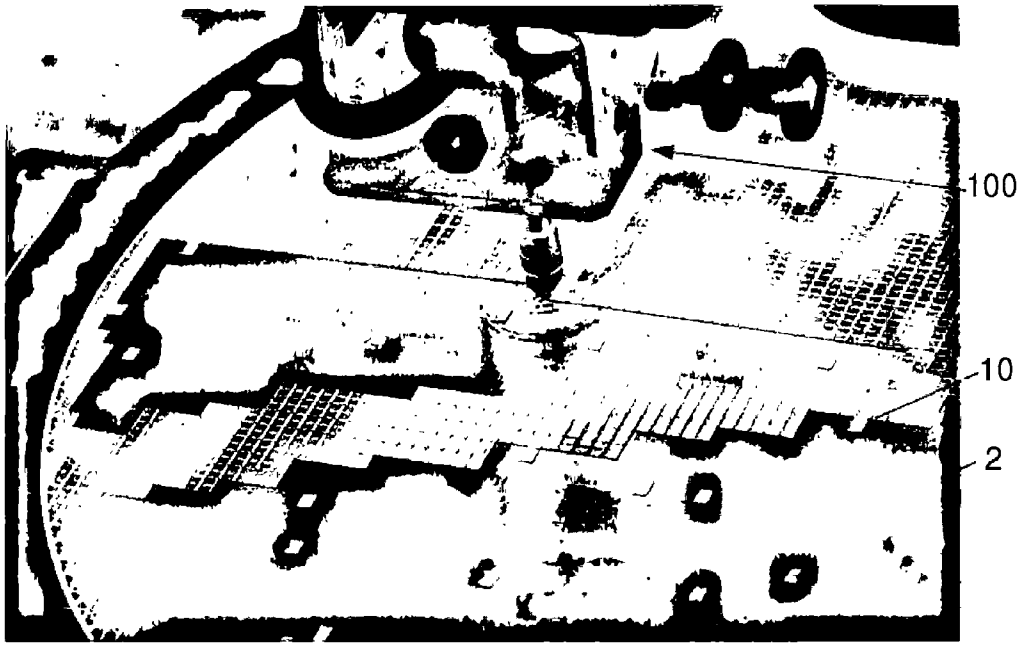


Fig. 19

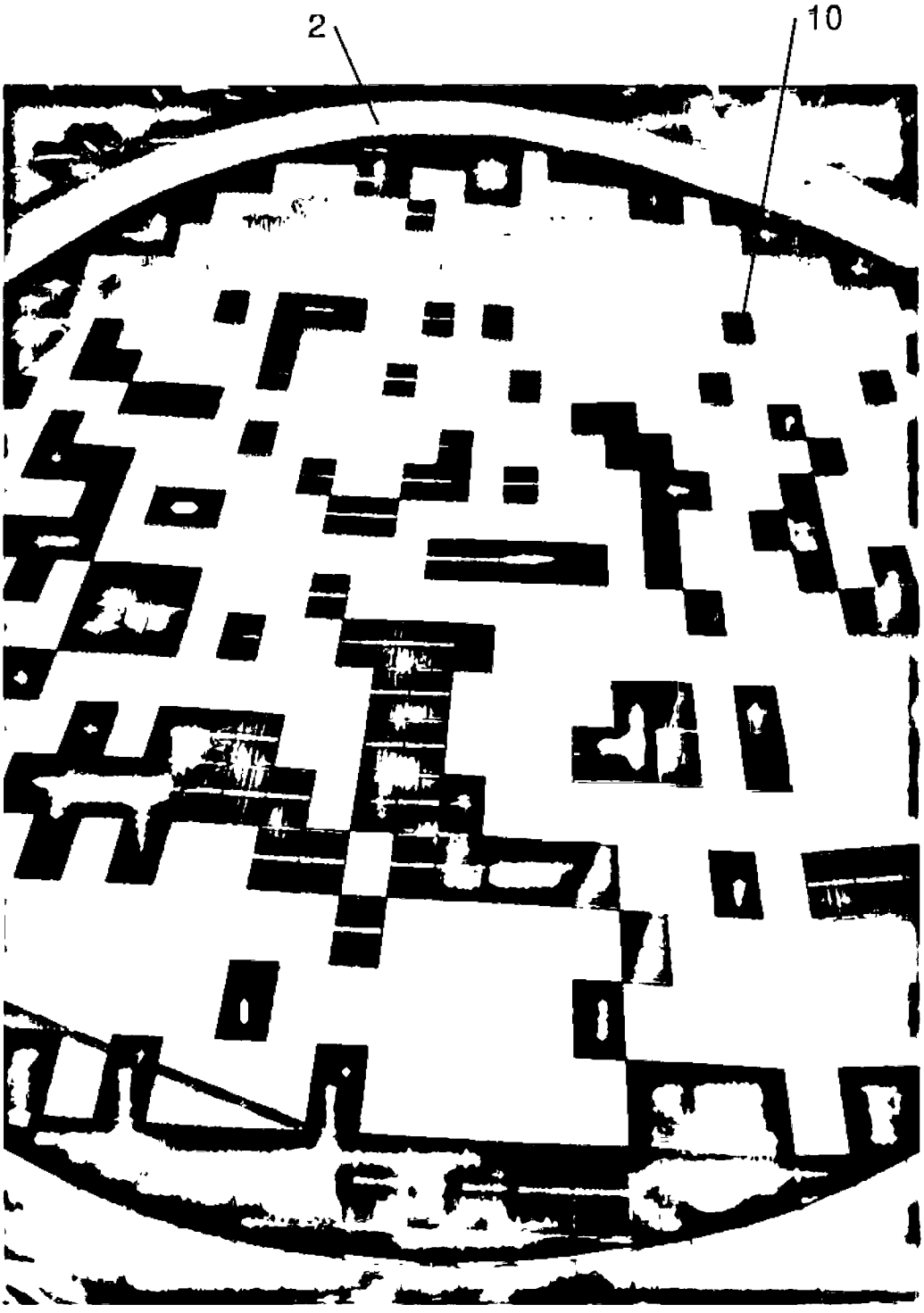


Fig. 20