

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

2 900 852

21) N° d'enregistrement national : 06 51694

51) Int Cl<sup>8</sup> : B 23 K 26/00 (2006.01), B 23 K 26/12, 26/18, C 21 D 7/06

12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 11.05.06.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 16.11.07 Bulletin 07/46.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA — JP.

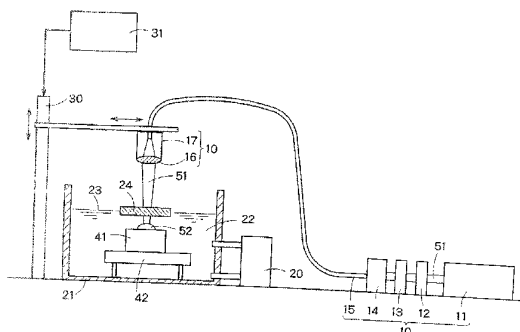
72) Inventeur(s) : SANO YUJI, MUKAI NARUHIKO, YODA MASAKI, ONO YOSHIAKI, SAEKI RYOICHI et NAITO HIDEKI.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

54) PROCÉDE ET APPAREIL DE TREMPE PAR CHOC LASER.

57) Il est proposé un procédé et un appareil de trempe par choc laser permettant d'éliminer la projection de liquide (23) et la formation d'ondelettes à la surface de celui-ci au moment de l'application d'un faisceau laser, et d'appliquer de manière stable un faisceau laser (51) à une pièce (41). Les opérations effectuées selon l'invention sont les suivantes: prévoir un solide (24) transparent vis-à-vis de la longueur d'onde du laser, et servant de fenêtre d'entrée à la surface du liquide (23); permettre au liquide d'être présent dans le trajet de lumière du faisceau laser entre le solide et la surface de la pièce; et permettre au faisceau laser d'appliquer, au travers du solide, à la surface de la pièce, de sorte qu'une trempe par choc de la surface de la pièce soit effectuée.



FR 2 900 852 - A1



La présente invention concerne un procédé et un appareil de trempe par choc laser permettant d'envoyer sur la surface d'un matériau solide, comme par exemple un métal ou une céramique, un faisceau laser pulsé au travers d'un liquide, de façon à ajuster les caractéristiques de surface ou les caractéristiques internes du matériau, comme par exemple  
5 la structure, la dureté et les contraintes résiduelles.

Les défauts présents dans une structure, par exemple de la corrosion ou des craquelures, proviennent, dans la plupart des cas, de la surface, si bien que la durée de la vie de la structure dépend de ses  
10 caractéristiques de surface. Des tentatives ont donc été faites pour améliorer les propriétés mécaniques ou chimiques de la surface d'un matériau, par exemple la résistance à la fatigue, la résistance à la corrosion et la résistance à l'usure, de manière à prolonger la durée de vie de la structure.

15 Le martelage à la grenaille est une technique typique de traitement de surface. Cette technique permet d'élever la dureté de la couche de surface d'une pièce et d'introduire des contraintes résiduelles de compression dans la couche de surface, et, de ce fait, elle est largement utilisée dans les domaines industriels de l'automobile, de  
20 l'aviation, etc., (voir par exemple "Metal Fatigue and Shot Peening", édité par la société "Society for Shot Peening Technology of Japan").

L'application d'un faisceau laser permet, par ailleurs, un ajustement précis et rapide de la densité d'énergie ainsi que du point d'application et peut réaliser un traitement à grande vitesse, un traitement  
25 de chauffage/trempe rapide, etc., ce qui est difficile à réaliser avec d'autres procédés. Par conséquent, diverses techniques d'application de faisceau laser ont été mises au point, qui sont en mesure de trouver de plus larges applications au traitement des matériaux.

Une semblable technique est la trempe par choc laser, qui  
30 implique l'envoi, à la surface d'un matériau, d'un faisceau laser pulsé au travers d'un liquide. Comme avec le martelage à la grenaille, cette technique permet d'élever la dureté de la couche de surface d'une pièce et d'introduire, dans la couche de surface, des contraintes résiduelles de compression.

35 La trempe par choc laser possède un effet supérieur à celui du martelage à la grenaille et, en outre, offre des avantages excellents, que

le martelage à la grenaille ne possède pas, comme par exemple la possibilité d'une opération sans contact, la non-intervention d'une force de réaction, et la possibilité d'ajuster avec précision les conditions d'application du faisceau laser et les sites d'application du faisceau laser.

5 Le développement et les applications pratiques de ce procédé de traitement sont maintenant en voie de réalisation (publications de brevets japonais mis à disposition du public sous les numéros 7-246483, B-112681, 8-326502, et 2003-504212.

10 La trempe par choc laser, qui implique l'envoi, à la surface d'un matériau solide, comme par exemple un métal ou une céramique, d'un faisceau laser pulsé au travers d'un liquide, de façon à ajuster les caractéristiques de surface et les caractéristiques internes du matériau comme par exemple la structure, la dureté et les contraintes résiduelles, va maintenant être décrit en liaison avec les figures 1 à 3.

15 La figure 1 illustre un procédé dans lequel une pièce 41, disposée dans un liquide 22, se voit appliquer un faisceau laser pulsé 51 visant à ajuster les caractéristiques du matériau, comme par exemple la structure, la dureté et les contraintes résiduelles, de la pièce 41.

20 Lorsque la densité de puissance de crête du faisceau laser 51 dépasse le seuil de production de plasma de la pièce 41 (d'environ 0,1 à 10 térawatts/m<sup>2</sup> (TW/m<sup>2</sup>) dans le cas d'un métal, la couche de surface située sur le dessus (1 µm ou moins) de la pièce 41 s'évapore instantanément en produisant un plasma 52. En raison de l'inertie agissant fortement et de manière instantanée dans le liquide 22, le plasma 52 peut s'étendre de manière réduite et l'énergie du faisceau laser 54 se concentre dans une zone étroite. Par conséquent, la pression du plasma peut même atteindre de 10 à 100 fois la pression qui prévaut dans l'air ou dans le vide.

30 Lorsqu'on utilise de l'eau au titre du liquide 22, la pression P (s'exprimant en gigapascal (GPa)) du plasma produit est approximativement égale à  $(0,2 \times I)^{0,5}$ , où I (s'exprimant en térawatt par mètre carré (TW/m<sup>2</sup>)) représente la densité de puissance de crête du faisceau laser 51 appliqué à la pièce 41. Dans le cas où le liquide 22 est un liquide autre que l'eau, comme par exemple de l'alcool, de l'ammoniaque ou une solution d'acide borique, la pression du plasma peut être déterminée par l'équation :  $P = (0,2 \times I \times k)^{0,5}$ , où k est égal au

rapport de l'impédance acoustique du liquide à l'impédance acoustique de l'eau.

L'impédance acoustique du liquide est égale au produit de la densité du liquide par la vitesse du son dans le liquide. Avec un liquide  
5 autre que l'eau, comme ci-dessus indiqué, la pression du plasma dans le liquide ne diffère donc pas notablement de celle dans l'eau. Ainsi, dans l'un et l'autre cas, lorsque la grandeur et l'énergie du faisceau laser 51 sont ajustées de manière à réaliser une densité de puissance de crête pour le faisceau laser 51 allant de  $1 \text{ TW/m}^2$  à  $100 \text{ TW/m}^2$  à la surface de  
10 la pièce 41, la pression du plasma 52 est d'environ 450 MPa à 4,5 GPa.

Le plasma 52 sous haute pression ainsi produit comprime instantanément la surface de la pièce 41 et le déplacement de surface provoqué par la compression crée une onde de choc 53 qui se propage en direction de la profondeur de la pièce. L'onde de choc 53, lorsque sa  
15 pression dépasse la limite de contrainte de la pièce, provoque une déformation plastique locale. Ceci offre la possibilité d'ajuster les caractéristiques du matériau, comme la structure, la dureté et les contraintes résiduelles.

Les figures 2 et 3 présentent un exemple d'ajustement des  
20 caractéristiques du matériau par une trempe par choc laser, la figure 2 montrant la variation de la dureté d'un acier inoxydable (SUS 304) et la figure 3 montrant la variation de la contrainte résiduelle de cet acier inoxydable. Un faisceau laser ayant une énergie pulsée de 200 millijoules (mJ) et une largeur d'impulsion de 8 nanosecondes (ns) a été recueilli de  
25 façon que les taches d'application prennent la forme d'un cercle de diamètre 0,8 mm et soient appliquées à raison de 36 impulsions par millimètre carré, si bien que la densité de puissance de crête devient  $50 \text{ TW/m}^2$ . Les numéros de référence 71 et 72 désignent les valeurs de dureté respectivement avant et après le traitement. Les données  
30 comparatives montrent l'accroissement de la dureté dans une région allant approximativement jusqu'à une profondeur de 1 mm par le traitement de trempe par choc laser. Les numéros de référence 73 et 74 indiquent les valeurs des contraintes résiduelles respectivement avant et après le traitement. Les données comparatives montrent une amélioration faisant  
35 passer de la traction à la compression pour les contraintes résiduelles dans

une région allant approximativement jusqu'à la profondeur de 1 mm par le traitement de trempe par choc laser.

5 Une telle augmentation de la dureté de la surface d'un matériau ainsi que la formation d'une contrainte résiduelle de compression sont des facteurs efficaces dans l'amélioration de la résistance à la fatigue et la lutte contre l'apparition de craquelures et de corrosion liées à des contraintes. Par conséquent, la trempe par choc laser a été progressivement employée dans l'industrie aéronautique, l'industrie automobile, l'industrie atomique, etc.

10 Puisque la trempe par choc laser implique l'application directe, à la surface de la pièce 41, d'un faisceau laser pulsé 51, il existe un cas pour lequel un élément, constituant le liquide 22 décomposé par le plasma 52, réagit avec la surface de la pièce 41.

15 Par exemple, dans le cas de la trempe par choc laser d'un acier inoxydable en atmosphère aqueuse, de l'hydrogène et de l'oxygène sont produits par la décomposition de l'eau, et l'oxygène réagit avec la surface de l'acier inoxydable, de sorte qu'une forte pellicule d'oxyde noire, présentant une épaisseur d'environ 1  $\mu\text{m}$  et principalement composée de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , est formée à la surface après le traitement.

20 Dans le cas où une telle pellicule noire n'est pas souhaitable en raison de son aspect, on peut former à la surface de la pièce 41 une pellicule de revêtement possédant une épaisseur qui est de l'ordre de plusieurs dizaines de microns, par exemple une peinture ou une bande métallique, avant la trempe par choc laser. Après enlèvement de la pellicule de revêtement, l'état de surface de la pièce 41 sera presque  
25 identique à ce qu'il était avant le traitement.

Dans la trempe par choc laser, la surface d'un matériau reçoit un faisceau laser pulsé à travers un liquide, par exemple de l'eau. A l'application de ce faisceau laser, il se produit un phénomène selon  
30 lequel un plasma de haute pression, produit à la surface du matériau, rejaillit sur le liquide et perturbe la surface du liquide. Lorsque l'application du faisceau laser suivant est effectuée peu après, la position ou la forme de la tache d'application du faisceau peut changer du fait de la réfraction. L'application suivante du faisceau laser doit donc attendre que la  
35 perturbation de la surface du liquide se soit apaisée, ce qui empêche d'augmenter la vitesse du traitement.

De plus, on effectue généralement la trempe par choc laser en appliquant un faisceau laser pulsé, qui est conformé suivant une forme circulaire ou carrée d'une taille d'environ un ou plusieurs millimètres, sur la surface d'un matériau. La trempe par choc laser a donc pour  
5 inconvéniement que seule une petite aire peut être traitée au moyen d'une impulsion, si bien que la vitesse de traitement est lente. Des études ont donc été entreprises pour trouver des procédés permettant d'accélérer le traitement, par exemple l'utilisation d'un oscillateur laser ayant une vitesse de répétition élevée ou bien l'utilisation d'un oscillateur laser ayant une  
10 énergie pulsée importante. Toutefois, les procédés d'augmentation de la vitesse rencontrent des problèmes tels que la nécessité d'utiliser un oscillateur laser de plus grande taille ou un dispositif de commande de plus grande taille pour déplacer la pièce ou la tête d'application de faisceau. L'accélération du traitement de trempe par choc laser est donc  
15 difficile.

La présente invention a été faite pour résoudre les problèmes ci-dessus mentionnés de la technique antérieure. C'est donc un but de l'invention de produire un procédé et un appareil de trempe par choc laser qui permettent une augmentation de la dureté de la surface d'une pièce et  
20 une amélioration des contraintes résiduelles présentes dans la surface, qui peuvent éliminer le rejaillissement sur un liquide et l'ondulation de la surface du liquide au moment de l'application du faisceau laser, et qui peuvent appliquer de manière stable à la pièce un faisceau laser.

C'est également un but de l'invention de produire un procédé et un appareil de trempe par choc laser qui rendent possible le traitement d'une pièce à une vitesse suffisamment élevée sans que ceci impose une charge excessive au dispositif de commande.

Pour atteindre les buts ci-dessus indiqués, l'invention propose, dans un procédé de trempe par choc laser permettant d'effectuer un  
30 traitement de surface sur une pièce en contact avec un liquide par application, au travers du liquide, à la surface de la pièce, d'un faisceau laser pulsé émis par intermittence en provenance d'un dispositif d'envoi de faisceau laser, l'amélioration en quoi consistent les opérations suivantes : fournir un solide, transparent pour la longueur d'onde du laser, qui sert de  
35 fenêtre d'entrée donnant accès à la surface du liquide ; permettre au liquide d'être présent sur le trajet de lumière du faisceau laser entre le

solide et la surface de la pièce ; et permettre au faisceau laser d'entrer dans le solide et appliquer le faisceau laser, à travers le liquide, à la surface de la pièce, de manière à réaliser une trempe par choc de la surface de la pièce.

5 L'invention propose également, dans un procédé de trempe par choc laser permettant d'effectuer un traitement de surface sur une pièce en contact avec un liquide par application d'un faisceau laser pulsé émis par intermittence en provenance d'un dispositif d'envoi de faisceau laser, sur la surface de la pièce à travers le liquide, l'amélioration en quoi  
10 consistent les opérations suivantes : remplir le trajet de lumière du laser, depuis la sortie laser du dispositif d'envoi de faisceau laser jusqu'à la surface de la pièce, au moyen d'un liquide qui est transparent à la longueur d'onde du laser appliqué ; et appliquer le faisceau laser à la surface de la pièce à travers le liquide, de manière à réaliser une trempe  
15 par choc de la surface de la pièce.

L'invention propose également, dans un procédé de trempe par choc laser permettant d'effectuer un traitement de surface sur une pièce en contact avec un liquide par envoi d'un faisceau laser pulsé émis par intermittence en provenance d'un dispositif d'envoi de faisceau laser, sur  
20 la surface de la pièce à travers le liquide, l'amélioration en quoi consistent les opérations suivantes : fixer une vitesse de déplacement relatif entre le faisceau laser et la pièce de façon que l'intervalle d'application du faisceau laser qui est appliqué à la surface de la pièce diffère selon qu'il s'agit de la direction de déplacement relatif entre la pièce et le faisceau laser ou de la direction perpendiculaire à la direction de déplacement relatif ; appliquer  
25 le faisceau laser émis en provenance du dispositif d'envoi de faisceau de laser sur la surface de la pièce au travers du liquide ; et déplacer la pièce et le faisceau l'un par rapport à l'autre à la vitesse de déplacement relative fixée, si bien qu'on réalise la trempe par choc de la surface de la pièce.

30 De préférence, l'intervalle d'application du faisceau laser appliqué à la surface de la pièce est plus petit dans la direction de déplacement relatif entre la pièce et le faisceau laser que dans la direction perpendiculaire à la direction de déplacement relatif. De plus, l'intervalle d'application du faisceau laser dans la direction perpendiculaire à la direction de déplacement relatif entre la pièce et le faisceau laser n'est de  
35

préférence pas supérieur à cinq fois la taille de la tache d'application du faisceau laser.

5 L'invention propose également, dans un procédé de trempe par choc laser permettant d'effectuer le traitement de surface d'une pièce au contact avec un liquide par application d'un faisceau laser pulsé, lequel est émis par intermittence depuis un dispositif d'envoi de faisceau laser, sur la surface de la pièce au travers du liquide, l'amélioration en quoi consistent les opérations suivantes : conformer le faisceau laser émis depuis le dispositif d'envoi de faisceau laser suivant une forme en section droite  
10 telle que la tache d'application du faisceau laser sur la surface de la pièce prenne une forme allongée ; appliquer la tache d'application allongée à la surface de la pièce au travers du liquide ; et déplacer la pièce et le faisceau laser l'un par rapport à l'autre, si bien qu'une trempe par choc est effectuée de la surface de la pièce.

15 De préférence, la tache d'application de faisceau laser possède une forme elliptique ou rectangulaire.

L'invention propose également, dans un procédé de trempe par choc laser permettant d'effectuer le traitement de surface d'une pièce en contact avec un liquide par application d'un faisceau laser pulsé, lequel est  
20 émis par intermittence depuis un dispositif d'envoi de faisceau laser, sur la surface de la pièce au travers du liquide, l'amélioration en quoi consistent les opérations suivantes : positionner une pièce tubulaire coaxialement par rapport à l'axe de lumière du faisceau laser ; donner au faisceau laser émis depuis le dispositif d'application de faisceau laser une forme en section droite telle que la tache d'application du faisceau laser sur la surface périphérique interne de la pièce prend la forme d'un anneau  
25 étroit ; appliquer la tache d'application en forme d'anneau étroit à la surface périphérique interne de la pièce au travers du liquide ; et déplacer la pièce et le faisceau laser l'un par rapport à l'autre dans la direction axiale de la pièce, si bien qu'on réalise une trempe par choc de la surface  
30 périphérique interne de la pièce.

L'invention propose également un appareil de trempe par choc laser, comprenant : un dispositif d'application de faisceau laser comportant un oscillateur laser et un dispositif optique servant à diriger un  
35 faisceau laser, lequel est émis depuis l'oscillateur laser, sur la surface d'une pièce ; un dispositif d'entraînement servant à déplacer le faisceau



laser par rapport à la pièce suivant la surface de la pièce ; un élément solide transparent vis-à-vis de la longueur d'onde du laser, qui est disposé en une position distante vis-à-vis de la surface de la pièce et qui sert de fenêtre d'entrée à une surface de liquide ; et un récipient permettant de  
5 remplir d'un liquide le trajet de lumière du faisceau laser entre l'élément solide et la surface de la pièce.

L'invention propose également un appareil de trempe par choc laser, comprenant : un dispositif d'application de faisceau laser comportant un oscillateur laser et un dispositif optique servant à diriger le  
10 faisceau laser, lequel est émis par l'oscillateur laser, sur la surface d'une pièce ; un dispositif d'entraînement servant à déplacer le faisceau laser par rapport à la pièce le long de la surface de la pièce ; et un éjecteur de liquide, placé à la sortie laser du dispositif d'envoi de faisceau laser, servant à projeter un liquide qui est transparent vis-à-vis de la longueur  
15 d'onde du laser appliqué coaxialement par rapport au faisceau laser afin de remplir, au moyen du liquide, le trajet de lumière du faisceau laser allant de la sortie laser jusqu'à la surface de la pièce.

Les appareils de trempe par choc laser ci-dessus présentés peuvent chacun comprendre en outre un moyen permettant de  
20 commander la vitesse du déplacement relatif entre le faisceau laser et la pièce de façon que l'intervalle d'application du faisceau laser appliqué à la surface de la pièce diffère selon qu'il s'agit de la direction de déplacement relatif entre la pièce et le faisceau laser ou de la direction perpendiculaire à la direction de déplacement relatif.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le dispositif optique comporte un moyen permettant de donner au faisceau laser émis par le dispositif d'envoi de faisceau laser une forme en section droite telle que la tache d'application de faisceau laser sur la surface de la pièce prenne une forme allongée. Le dispositif optique peut comporter une  
30 lentille convexe cylindrique ou un miroir concave cylindrique, et donner au faisceau laser, sortant de la lentille convexe cylindrique ou du miroir concave cylindrique, une forme en section droite elliptique ainsi qu'appliquer le faisceau laser à la surface de la pièce. Selon une autre possibilité, le dispositif optique peut comporter un moyen  
35 d'homogénéisation servant à égaliser la distribution d'intensité du faisceau laser, et une lentille convexe cylindrique ou un miroir concave cylindrique,

et donner au faisceau laser, qui sort de la lentille convexe cylindrique ou du miroir concave cylindrique, une forme en section droite rectangulaire et appliquer le faisceau laser à la surface de la pièce.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le dispositif  
5 optique comporte à l'extrémité avant un miroir symétrique par rapport à une rotation, qui réfléchit le faisceau laser incident, lequel est généralement parallèle à l'axe de symétrie du miroir, pour former un faisceau laser radial. Le miroir symétrique par rapport à la rotation peut être un miroir conique et être utilisé en combinaison avec une lentille  
10 convexe ou un miroir concave. De préférence, la ligne d'intersection de la surface réfléchissante du miroir symétrique par rapport à la rotation fait qu'un plan contenant l'axe de symétrie du miroir est une partie de parabole, et le foyer de la parabole se trouve approximativement sur la surface de la pièce.

Du fait qu'on prévoit un solide qui est transparent vis-à-vis de la  
15 longueur d'onde du laser appliqué à une certaine distance de la surface de la pièce et qu'on remplit, au moyen d'un liquide, le trajet de lumière du laser entre le solide et la surface de la pièce, selon l'invention, le liquide ne possède aucune surface libre dans le trajet de lumière du laser.  
20 En principe, par conséquent, il n'existe aucune possibilité que du liquide soit pulvérisé et que la surface du liquide se mette à onduler suite à l'application du faisceau laser. Il devient donc possible d'appliquer de manière stable un faisceau laser à un point prédéterminé et d'augmenter la vitesse de traitement en utilisant un oscillateur laser ayant une plus  
25 grande vitesse de répétition.

Du fait qu'on remplit, au moyen d'un liquide transparent à la  
longueur d'onde du laser, le trajet de lumière d'un laser appliqué venant de la sortie laser d'un dispositif d'envoi de faisceau laser jusqu'à la surface  
d'une pièce, selon l'invention, le liquide ne présente aucune surface libre  
30 dans le trajet de lumière du laser. En principe, par conséquent, il n'existe aucune possibilité que le liquide soit pulvérisé et que la surface du liquide n'entre en ondulation au moment de l'application du faisceau laser. Il devient donc possible d'appliquer de manière stable un faisceau laser à un point prédéterminé et d'augmenter la vitesse de traitement en utilisant  
35 un oscillateur laser qui présente une vitesse de répétition plus élevée.

Du fait qu'on prévoit un éjecteur de liquide à la sortie laser du dispositif d'envoi de faisceau laser et qu'on projette un liquide transparent vis-à-vis de la longueur d'onde du faisceau laser appliqué coaxialement par rapport au faisceau laser de façon à remplir le trajet de lumière du laser, de la sortie laser jusqu'à la surface de la pièce, au moyen du liquide, selon l'invention, le liquide ne possède aucune surface libre dans le trajet de lumière du laser. Par conséquent, il devient possible d'appliquer de manière stable un faisceau laser à un point prédéterminé et d'augmenter la vitesse de traitement en utilisant un oscillateur laser qui présente une plus grande vitesse de répétition. De plus, puisque le trajet de lumière peut être maintenu propre au moyen du liquide projeté coaxialement au faisceau laser, il n'existe aucun risque de diffusion ou d'absorption du faisceau laser par des impuretés. En outre, un produit de traitement formé lors de l'application du faisceau laser peut être efficacement retiré par le liquide projeté. Ceci offre la possibilité d'appliquer des impulsions laser avec une grande vitesse de répétition, ce qui permet d'accroître la vitesse du traitement.

En faisant en sorte que l'intervalle d'application du faisceau laser dans la direction du déplacement relatif entre une pièce et le faisceau laser soit plus petit que celui existant dans la direction perpendiculaire à la direction de déplacement relatif, selon l'invention, il devient possible de réduire la vitesse du déplacement relatif entre la pièce et le faisceau laser, ce qui permet de réduire la charge appliquée au dispositif d'entraînement. Par conséquent, il devient possible d'appliquer des impulsions laser avec une vitesse de répétition plus élevée au moyen d'un même dispositif d'entraînement, ce qui permet d'accroître la vitesse de traitement.

De plus, par le fait qu'on donne au faisceau laser une forme en section droite telle que la tache d'application d'un faisceau laser à la surface de la pièce prend une forme allongée, et qu'on déplace la pièce et le faisceau laser l'un par rapport à l'autre dans une direction qui est sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale de la tache d'application allongée, selon l'invention, il devient possible de réduire la vitesse du déplacement relatif, si bien qu'on diminue la charge exercée sur le dispositif d'entraînement. Par conséquent, il devient possible d'appliquer

une impulsion laser avec une vitesse de répétition plus élevée au moyen du même dispositif d'entraînement, ce qui accroît la vitesse de traitement.

La description suivante, conçue à titre d'illustration de l'invention, vise à donner une meilleure compréhension de ses caractéristiques et avantages ; elle s'appuie sur les dessins annexés, parmi lesquels :

la figure 1 est un schéma conceptuel montrant le principe de la trempe par choc laser ;

la figure 2 est un graphique montrant la variation de la dureté d'un acier inoxydable par application d'une trempe par choc laser ;

la figure 3 est un graphique montrant la variation de la contrainte résiduelle de l'acier inoxydable par application d'une trempe par choc laser ;

la figure 4 est un schéma en section droite montrant un appareil de trempe par choc laser selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

la figure 5 est un schéma en section droite montrant un appareil de trempe par choc laser selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;

la figure 6 est un schéma montrant une manière classique d'appliquer un faisceau laser dans la trempe par choc laser ;

la figure 7 est un schéma montrant un intervalle d'application entre taches d'application dans la trempe par choc laser ;

les figures 8A et 8B sont des schémas montrant différentes manières d'appliquer un faisceau laser selon un troisième mode de réalisation de l'invention ;

la figure 9 est un schéma illustrant une autre manière d'appliquer un faisceau laser selon le troisième mode de réalisation de l'invention ;

la figure 10 est un graphique montrant la relation qui existe entre le temps et la vitesse de déplacement d'un dispositif d'entraînement ;

la figure 11 est un graphique illustrant la vitesse de traitement de la trempe par choc laser selon le troisième mode de réalisation de l'invention ;

la figure 12 est un schéma montrant la forme d'une tache d'application et une manière d'appliquer le faisceau laser selon un quatrième mode de réalisation de l'invention ;

la figure 13 est un schéma en section droite montrant un  
5 appareil de trempe par choc laser selon un cinquième mode de réalisation de l'invention ;

la figure 14 est un schéma montrant la fonction d'une lentille convexe cylindrique ;

la figure 15 est un schéma en section droite montrant une tête  
10 d'application de faisceau laser qui utilise un miroir concave cylindrique, et sa fonction ;

les figures 16A et 16B sont des schémas en section droite montrant une tête d'application de faisceau laser utilisant un dispositif d'homogénéisation, et sa fonction ;

les figures 17A et 17B sont des graphiques montrant l'effet d'un  
15 dispositif d'homogénéisation sur l'égalisation de la distribution des intensités laser ; et

la figure 18 est un schéma en section droite montrant un  
20 appareil de trempe par choc laser selon un sixième mode de réalisation de l'invention.

On présente ci-après des modes de réalisation préférés de l'invention en liaison avec les dessins.

#### Premier mode de réalisation

La figure 4 est un schéma explicatif montrant un procédé de  
25 trempe par choc laser selon un premier mode de réalisation de l'invention. Les éléments qui sont identiques à des éléments de la figure 1 sont ici désignés au moyen des mêmes numéros de référence, et on omettra d'en donner une deuxième fois la description.

Une pièce 41 est fixée sur un support 42 placé dans un  
30 liquide 22 remplissant un récipient 21. Le support 42, qui maintient la pièce 41, présente une fonction d'ajustement de position qui permet d'ajuster la hauteur, l'angle, etc., de la pièce 41.

Un faisceau laser pulsé 51, émis par un oscillateur laser 11,  
35 passe dans un dispositif 12 d'ajustement de puissance, un obturateur 13 et un système d'injection optique 14 et il entre dans une fibre optique 15.

Le faisceau laser 51 émergeant de la fibre optique 15 est dirigé par une tête d'application de faisceau 17 possédant une lentille 16 en direction de la pièce 41 dans le liquide 22. Tout en déplaçant la tête d'application de faisceau 17 le long de la surface de la pièce 41 au moyen d'un dispositif d'entraînement 30, on applique le faisceau laser 51 de façon intermittente à la pièce 41, si bien qu'on réalise une trempe par choc uniforme sur une aire de traitement prédéterminée de la surface de la pièce 41.

On peut utiliser pour l'oscillateur laser 11 un laser à verre ou un laser Nd : YAG, qui oscille pour une longueur d'onde du proche infrarouge d'environ  $1\ \mu\text{m}$ . Quand on utilise de l'eau au titre du liquide 22, la profondeur de la pièce dans l'eau doit être de plusieurs millimètres, parce que la lumière du proche infrarouge peut être absorbée par l'eau. Toutefois, dans le cas où la pièce 41 possède une forme complexe, il peut être difficile de régler sa profondeur dans l'eau dans la limite de plusieurs millimètres. On préfère donc utiliser pour l'oscillateur laser 11 la deuxième onde harmonique du laser Nd : YAG (longueur d'onde de  $0,53\ \mu\text{m}$ ), qui est peu absorbée par l'eau et est donc exempte de limitation quant à la profondeur dans l'eau.

Le dispositif 12 d'ajustement de puissance est un dispositif optique qui est constitué par exemple par la combinaison d'une lame polarisante et d'un dispositif de branchement et qui ajuste l'énergie du faisceau laser 51. L'obturateur 13 est constitué par exemple par un miroir fonctionnant à grande vitesse et est ainsi conçu que, via la commande d'ouverture et de fermeture agissant en synchronisme avec le dispositif d'entraînement 30, il permet que le faisceau laser 51 soit appliqué seulement à la partie nécessaire de la surface de la pièce 41. Le système 14 d'injection optique ajuste et maintient la relation géométrique entre le faisceau laser 51 et la fibre optique 15 et, avec le fait qu'il est prévu un dispositif d'homogénéisation, ou un dispositif analogue, a pour fonction d'aplanir la distribution d'intensité spatiale du faisceau laser 51 dans le faisceau, ce qui empêche d'endommager l'extrémité d'entrée laser de la fibre optique 15.

La tête d'application de faisceau 17, dotée de la lentille 16, a pour fonction de diriger le faisceau laser 51, qui sort de la fibre optique 15, jusqu'à la surface de la pièce 41, tout en rétrécissant le faisceau laser 51. Par conséquent, l'aire de la tache d'application sur la

surface de la pièce 41 peut être modifiée et, par conséquent, il est possible de modifier la densité de puissance de crête ( $I(TW/m^2)$ ) du faisceau laser 51 appliqué à la surface de la pièce 41 en changeant la distance entre la tête d'application de faisceau 17 et la pièce 41.

5 L'effet de la trempe par choc laser est déterminé par la pression du plasma 52 ( $P = (0,2 \times I)^{0,5}$ ). Pour assurer l'effet voulu, il est donc nécessaire de maintenir la densité de puissance de crête à l'intérieur d'un intervalle prédéterminé. Dans ce but, le support 42 servant à tenir la  
10 pièce 41 possède une fonction de réglage de position et réalise un ajustement grossier de la distance entre la tête d'application de faisceau 17 et la pièce 41 via l'ajustement de la position de la pièce 41. Par le fait qu'on commande également la hauteur de la tête d'application de faisceau 17 via le dispositif d'entraînement 30, on maintient la distance entre la tête d'application de faisceau 17 et la pièce 41 à l'intérieur d'un  
15 intervalle prédéterminé.

On ajuste la hauteur de la tête d'application de faisceau 17 en mesurant la distance entre la tête d'application de faisceau 17 et la pièce 41 au moyen d'un dispositif (non représenté) de mesure de distance, comme par exemple un dispositif de mesure de distance par  
20 ultrasons ou un dispositif de mesure de distance au laser. La hauteur de la tête d'application de faisceau 17 peut également être ajustée via le temps d'arrivée du son produit par le plasma 52, lui-même créé par l'application du faisceau laser 51. On peut également ajuster la hauteur de la tête d'application de faisceau 17 en mesurant, à travers la fibre optique 15,  
25 l'intensité de réflexion du faisceau laser 51 réfléchi par la surface de la pièce 41.

Le plasma 52 produit par application du faisceau laser 51 perd son énergie en un temps bref (environ  $10^{-7}$  s) et, tandis qu'il se refroidit, prend la forme de fines particules qui flottent dans le liquide. Si l'on  
30 applique le faisceau laser suivant à un tel système, les fines particules vont absorber ou diffuser l'énergie du faisceau laser, ce qui empêchera une trempe par choc laser efficace.

Dans ce mode de réalisation, pour empêcher que ces fines particules ne flottent, on raccorde au récipient 21 un dispositif 20  
35 d'alimentation en liquide de façon à fournir en permanence du liquide

propre 22 au récipient 21. Le dispositif 20 d'alimentation en liquide est constitué par exemple d'une pompe, d'un filtre et d'un débitmètre.

De plus, dans ce mode de réalisation, une fenêtre transparente 24, qui sert de fenêtre d'entrée à la surface du liquide, est  
5 fixée approximativement au même niveau que la surface 23 du liquide. Un matériau transparent à la longueur d'onde du laser utilisé (c'est-à-dire ayant une petite absorption du faisceau laser) suffit pour la fenêtre transparente 24. Par exemple, on peut utiliser du verre de quartz ou du polycarbonate, présentant une durabilité excellente. Via ce positionnement  
10 de la fenêtre transparente 24, le liquide 22 ne présente aucune surface libre dans le trajet de lumière du faisceau laser 51. Par conséquent, en principe, il n'existe aucune possibilité que se produisent des perturbations de la surface du liquide 23.

Si la fenêtre transparente 24 n'est pas prévue et qu'on laisse le  
15 faisceau laser 51 pénétrer à travers la surface libre du liquide 22, des pulvérisations ou des ondulations du liquide 22, dues à la pression du plasma 52 (la pression de crête est d'environ 3 GPa) se produisent et, en raison de la réfraction du faisceau laser 51, la position ou la forme de la tache d'application de faisceau variera. Il est donc nécessaire d'attendre,  
20 pour l'application du faisceau laser suivant 51, que la perturbation de la surface du liquide 23 se soit apaisée. Lorsque, par exemple, on utilise un récipient 21 ayant une taille de 300 mm x 400 mm x 200 mm (pour la profondeur), il faut environ 10 s pour que la perturbation de la surface liquide 23 ne soit amortie, ce qui empêche d'augmenter la vitesse du  
25 traitement.

Les perturbations de la surface de liquide 23 introduisent également le problème selon lequel le liquide pulvérisé 22 adhère à la lentille 16 de la tête d'application de faisceau 17 ou à d'autres dispositifs optiques, ce qui provoque une réfraction du faisceau laser.

30 Avec ce mode de réalisation, le fait de prévoir la fenêtre transparente 24 empêche la perturbation de la surface liquide 23 et peut par conséquent éliminer le temps d'attente, ce qui offre la possibilité d'appliquer le faisceau laser pulsé 51 de manière intermittente à de brefs intervalles. Par conséquent, il devient possible d'augmenter la vitesse de  
35 traitement en utilisant un oscillateur laser 11 qui présente une grande vitesse de répétition.



Alors que, dans le mode de réalisation présenté en liaison avec la figure 4, la fenêtre transparente 24 est prévue de façon à couvrir une partie de la surface du liquide, il est possible de couvrir toute la surface de liquide 23 au moyen de la fenêtre transparente 24. En outre, alors que la

5 fibre optique 15 est utilisée comme moyen pour transmettre le faisceau laser 51, il est également possible d'utiliser un bras souple articulé, par exemple comme ceux utilisés dans le domaine de la dentisterie.

Dans ce mode de réalisation, une zone prédéterminée de la surface de la pièce 41 est soumise à une trempe par choc laser, via un

10 traitement effectué par déplacement de la tête d'application de faisceau 17. Il va sans dire qu'on obtient le même effet de traitement dans le cas où on déplace la pièce 41 tandis que la tête d'application de faisceau 17 reste fixe, ou bien dans le cas où on déplace en même temps la tête d'application de faisceau 17 et la pièce 41.

15

#### Deuxième mode de réalisation

La figure 5 est un schéma explicatif qui montre un procédé et un appareil de trempe par choc laser selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Des éléments identiques à ceux du premier

20 mode de réalisation seront désignés par les mêmes numéros de référence et on omettra d'en donner une deuxième fois une description.

La pièce 41 est, dans ce mode de réalisation, au contraire du cas du premier mode de réalisation, une structure que l'on ne peut pas placer dans le liquide contenu par le récipient 21 pour mettre en œuvre la

25 trempe par choc laser, par exemple une pile de pont.

Dans le cas où la pièce 41 est une pile destinée à un pont, on applique le faisceau laser 51 émis depuis la tête d'application de faisceau 17 à une zone affectée par la chaleur qui entoure une zone soudée 43 de façon à ajuster les caractéristiques du matériau comportant

30 les contraintes résiduelles.

Pour obtenir l'effet souhaité de la trempe par choc laser, il faut que la partie d'application de faisceau 44 soit recouverte par le liquide 22 lors de l'application du faisceau laser 51. Toutefois, dans le cas où la partie d'application de faisceau 44 est placée sur le côté inférieur de la

35 structure, comme représenté sur la figure 5, il est difficile, avec la

technique classique, de maintenir le liquide 22 de telle manière qu'il recouvre la partie d'application de faisceau 44.

Même dans ce cas, avec l'invention, il devient possible de recouvrir le trajet de lumière du faisceau laser 51 et la partie d'application  
5 de faisceau 44 avec le liquide 22 en projetant le liquide 22 depuis un injecteur de liquide 61 coaxialement par rapport au faisceau laser 51, comme représenté sur la figure 5.

Après l'application du faisceau laser 51, la pression du plasma 52 est transmise à travers le liquide 22 à la surface 23 du liquide,  
10 amenant une pulvérisation du liquide 22. Par exemple, dans le cas où l'épaisseur du liquide 22 dans la partie d'application de faisceau 44 est de 1 mm, le liquide 22 commence à présenter des pulvérisations d'environ  $10^{-6}$  s après l'application du faisceau laser 51, de sorte qu'une part de la partie d'application de faisceau 44 devient temporairement exposée. Il est  
15 donc nécessaire de recouvrir la partie d'application de faisceau 44 au moyen du liquide, par exemple en ajustant le débit du liquide 22, avant l'application du faisceau laser 51 suivant.

Dans le but de recouvrir la partie d'application de faisceau 44 au moyen du liquide 22 avant l'application du faisceau laser 51 suivant de  
20 manière à effectuer le traitement de trempe par choc laser d'une façon plus continue, on a mené une expérience concernant la taille et la forme de l'éjecteur de liquide 61 ainsi que le débit d'éjection du liquide 22, à titre de paramètres, afin d'étudier la durée comprise entre le moment où la partie d'application de faisceau 44 devient exposée, lors de l'application du  
25 faisceau laser 51, et le moment où la partie d'application de faisceau exposée 44 devient recouverte par le liquide 22. On a mené l'expérience en utilisant diverses vitesses de répétition, allant jusqu'à 300 Hz, pour examiner la variation de l'effet de la trempe par choc laser lorsque la vitesse de répétition varie.

Il a été confirmé, à partir des résultats de l'expérience, que,  
30 lorsqu'on laisse le liquide 22 s'écouler coaxialement au faisceau laser 51, par exemple à une vitesse de 3 m/s et avec un débit de 4 l/min, la partie d'application de faisceau exposée 44 devient recouverte par le liquide 22 environ  $10^{-3}$  s après son exposition. Il a également été confirmé qu'une  
35 augmentation de la vitesse de répétition de l'oscillation laser amenant

jusqu'à la grande vitesse de répétition de 300 Hz ne produit aucune différence sensible dans l'effet de la trempe par choc laser.

Alors qu'il a été confirmé expérimentalement que ce même effet de trempe par choc laser pouvait être obtenu avec une vitesse de répétition d'oscillation laser allant jusqu'à 300 Hz en permettant que le liquide 22 s'écoule coaxialement au faisceau laser 51 avec une vitesse de 3 m/s, comme indiqué ci-dessus, un calcul donne comme possible une augmentation de la vitesse de répétition de l'oscillation laser allant jusqu'à 1 kHz, ce qui a pour effet d'accélérer le traitement. Toutefois, en raison du fait que le laser de haute puissance à oscillation pulsée que l'on trouve couramment dans le commerce présente une vitesse de répétition de 100 Hz au plus, la vitesse d'écoulement de 3 m/s pour le liquide 22 suffit. Même lorsqu'un oscillateur laser qui oscille à une vitesse supérieure sera mis au point dans le cadre d'innovations technologiques, ce même effet de trempe par choc laser sera obtenu par accroissement de la vitesse d'écoulement et du débit du liquide 22.

Pour appliquer de façon correcte le faisceau laser 51 à la partie d'application de faisceau 44, il est important d'éviter la création d'une phase gazeuse, comme par exemple des bulles d'air, dans le liquide 22. Dans ce but, il est nécessaire de commander la vitesse d'écoulement et le débit du liquide 22 de manière à empêcher que le liquide 22 projeté coaxialement au faisceau laser 51 ne prenne une pression négative et ne provoque une cavitation avant que la partie d'application de faisceau 44 n'a été atteinte.

25

### Troisième mode de réalisation

Les figures 6 à 11 sont des schémas explicatifs destinés à illustrer un procédé de trempe par choc laser selon un troisième mode de réalisation de l'invention. L'appareil représenté sur la figure 4 peut être utilisé pour l'application du procédé de trempe par choc laser de ce mode de réalisation. Ainsi, des éléments identiques à ceux du premier mode de réalisation sont ici désignés par les mêmes numéros de référence et, on omettra d'en donner ici une deuxième description.

La particularité caractéristique du troisième mode de réalisation de l'invention réside dans la vitesse de déplacement relatif entre un faisceau laser et la pièce. La vitesse de déplacement du faisceau laser est

35

liée à la manière dont la tache laser tombe sur la surface de la pièce. La figure 6 montre une distribution de taches d'application de faisceau 45 sur la surface de la pièce 41 dans une opération de trempe par choc laser telle qu'elle est effectuée par la technique antérieure. La figure 7 est un schéma illustrant un intervalle d'application de faisceau entre des taches adjacentes 45 d'application de faisceau. Lors du déplacement de la tête d'application de faisceau 17 avec une vitesse prédéterminée dans la direction latérale des figures 6 et 7 (la direction X) au moyen du dispositif d'entraînement 30, la surface de la pièce 41 se voit essentiellement appliquer le faisceau laser 51 à intervalles d'application réguliers (dx). Lorsque le faisceau laser 51 a atteint la frontière 47 de la zone de traitement, la tête d'application de faisceau 17 se déplace suivant la direction verticale (direction Y) d'une distance prédéterminée (dy), et se déplace de nouveau dans la direction latérale (direction -X) tout en émettant le faisceau laser 51 séquentiellement. La procédure d'application du faisceau laser se répète alors.

Selon la technique antérieure, l'intervalle d'application de faisceau (dx) du faisceau laser 51 suivant la direction de déplacement du faisceau laser 51 est rendu égal à l'intervalle d'application de faisceau (dy) du faisceau laser 51 dans la direction qui est perpendiculaire à la direction de déplacement du laser, si bien que la surface de la pièce 41 reçoit le faisceau laser 51 de manière uniforme et régulière.

Lorsque la vitesse de répétition de l'oscillateur laser 11 augmente de façon à accélérer le traitement de trempe par choc laser, il devient nécessaire de déplacer le faisceau laser 51 à une plus grande vitesse. En particulier, la vitesse de déplacement (v) du faisceau laser 51 peut être représentée par l'équation suivante, qui utilise l'intervalle d'application de faisceau (dx) et la vitesse de répétition (f) de l'oscillateur laser 11 :  $v = dx \cdot f$ . L'utilisation d'une vitesse de répétition (f) élevée permettant d'accélérer le traitement implique donc la nécessité d'une vitesse de déplacement (v) accrue pour le faisceau laser 51. Ceci implique une charge augmentée au dispositif d'entraînement 30, ce qui amène une limitation sur l'augmentation de la vitesse du traitement.

Un autre procédé pouvant être envisagé pour accélérer le traitement consiste à augmenter l'énergie pulsée du faisceau laser 51 de manière à ainsi accroître l'aire pouvant être traitée au moyen d'une unique

application de faisceau laser. Toutefois, ce procédé entraîne le problème selon lequel, lorsque la surface de la pièce 41 n'est pas plane, peuvent se produire des variations locales (des différences d'intensité) dans la densité de puissance de crête du faisceau laser 51, ce qui rend difficile l'exécution

5 d'un traitement uniforme. En outre, l'utilisation d'une énergie pulsée plus élevée nécessite celle d'un système de transmission optique de plus grande taille comportant un miroir, ce qui rend difficile la transmission du faisceau laser par le filtre optique 15.

Selon ce mode de réalisation, pour réduire la charge s'exerçant

10 sur le dispositif d'entraînement 30, laquelle est un obstacle à l'accélération de l'opération de trempe par choc laser, on fait en sorte que l'intervalle d'application de faisceau ( $dx$ ) du faisceau laser 51 dans la direction du déplacement relatif entre la pièce 41 et le faisceau laser 51 soit plus petit que la distance d'application de faisceau ( $dy$ ) dans la direction

15 perpendiculaire à la direction de déplacement relatif. Ainsi, la vitesse de déplacement relatif entre la pièce 41 et le faisceau laser 51 est rendue moins grande de façon à réduire la charge s'exerçant sur le dispositif d'entraînement 30. Pour ajuster une telle vitesse de déplacement et commander le dispositif d'entraînement 30, le dispositif d'entraînement 30

20 est doté d'un dispositif de commande 31.

La figure 8A montre la distribution de taches d'application de faisceau 45 dans le cas où  $dy/dx = 4$ , et la figure 8B montre la distribution des taches d'application de faisceau 45 dans le cas où  $dy/dx = 16$ . Alors que le nombre d'impulsions du faisceau laser 51 qui sont appliquées par

25 unité d'aire est le même que pour la technique antérieure (voir la figure 6), la vitesse de déplacement du faisceau laser 51 dans la direction X devient  $1/2$  (figure 8A) et  $1/4$  (figure 8B) par rapport à ce qu'il y avait pour la figure 6. La réduction de la charge s'exerçant sur le dispositif d'entraînement 30 est donc évidente.

30 Pour étudier l'effet de la trempe par choc laser de ce mode de réalisation en comparaison avec celui de la technique antérieure, on a mené une expérience au cours de laquelle on a appliqué à la surface d'un acier inoxydable placé dans l'eau un faisceau laser 51 possédant une énergie pulsé de 200 mJ et une largeur d'impulsion de 8 ns, à raison de

35 36 impulsions appliquées par millimètre carré, et on a mesuré les contraintes résiduelles existant dans la surface et à l'intérieur de l'acier

inoxydable. On a effectué l'application du faisceau laser pour cinq rapports  $dy/dx$  différents, à savoir 1, 4, 16,  $1/4$  et  $1/16$ , et trois diamètres différents pour la tache laser 45, à savoir 0,6 mm, 0,9 mm et 1,2 mm, ont fait l'objet d'essais pour chaque rapport  $dy/dx$ .

5 Il a été confirmé par les résultats de l'expérience que le rapport  $dy/dx$  n'avait pas d'influence sur les contraintes résiduelles. En particulier, avec un même nombre d'impulsions pour le faisceau laser 51 appliqué par unité d'aire, même une grande différence entre  $dx$  et  $dy$  ne produit aucune différence dans la distribution des contraintes résiduelles.

10 Comme illustré sur la figure 9, lorsque  $dx$  diminue encore, avec un nombre constant d'impulsions du faisceau laser 51 appliqué par unité d'aire,  $dy$  augmente en proportion inverse et finalement devient plus grand que le diamètre ( $D$ ) de la tache d'application de faisceau 45 du faisceau laser 51, ce qui amène la formation de lacunes dans les taches  
15 d'application de faisceau sur la surface de traitement. Il a toutefois été confirmé par l'expérience que, même dans le cas de telles conditions de traitement, la contrainte résiduelle devenait compressive au niveau de la surface, comportant des parties de lacunes lorsque  $dy$  vaut cinq fois  $D$  ou moins et, par conséquent, on obtient un effet de trempe par choc laser qui  
20 est suffisant.

Dans la trempe par choc laser, il est nécessaire d'inverser la direction de déplacement du dispositif d'entraînement 30 aux deux extrémités de la zone de traitement 46, c'est-à-dire au niveau des frontières 47 de la zone de traitement ; et l'accélération/décélération  
25 effectuée au moment de la prise du virage dans cette direction demande un certain temps. Par conséquent, la vitesse de traitement ne peut pas être fortement augmentée même lorsque la fréquence d'oscillation de l'oscillateur laser 11 a augmenté.

La figure 10 représente la relation qui existe entre le temps et  
30 la vitesse de déplacement du dispositif d'entraînement 30 lorsque le dispositif de déplacement 30 se déplace d'une frontière de la zone de traitement 46 à l'autre frontière. Le dispositif d'entraînement 30, qui a commencé d'accélérer à l'instant  $T_1$ , atteint une vitesse prédéterminée ( $V_c$ ) à l'instant  $T_2$ , maintient le déplacement à cette vitesse, et fait  
35 commencer la décélération à l'instant  $T_5$  pour s'arrêter à l'instant  $T_6$ . A l'instant  $T_3$  venant immédiatement après que le dispositif de

déplacement 30 a atteint la vitesse prédéterminée ( $V_c$ ), l'obturateur 13 de l'appareil 10 d'application de faisceau laser s'ouvre afin d'envoyer le faisceau laser 51, et l'obturateur 13 se ferme à l'instant T4. Ensuite, le dispositif d'entraînement 30 se déplace dans la direction Y de la distance  $dy$ , puis le dispositif d'entraînement 30 et l'obturateur 13 agissent de la même manière que ci-dessus indiqué. La procédure qui vient d'être décrite se répète de manière à traiter séquentiellement la zone de traitement 46.

La figure 11 montre les résultats de la détermination de la relation qui existe entre la durée de traitement 83 et  $dy/dx$  lors d'une trempe par choc laser telle qu'effectuée de la manière ci-dessus présentée. La détermination s'effectue dans les conditions suivantes : la vitesse de répétition de l'oscillateur laser est de 300 Hz ; le nombre d'impulsions appliquées par millimètre carré est de 36 impulsions ; les dimensions de la zone de traitement 46 sont de 30 mm x 30 mm ; l'accélération, au cours de l'accélération/décélération du dispositif d'entraînement 30 est de  $50 \text{ mm/s}^2$  ; et l'étendue de la zone d'accélération/décélération est de 3 mm. La durée de traitement 83 comporte la durée d'application du faisceau laser, la durée 82 d'accélération/décélération et la durée du déplacement suivant la direction Y.

Dans le cas où le traitement est exécuté suivant la technique antérieure, c'est-à-dire avec  $dy/dx = 1$ , le temps de traitement 83 est d'environ 480 s, dont environ 80 % sont dépensés pour le déplacement de l'appareil. Dans le cas où le traitement est exécuté avec  $dy/dx = 4$  selon l'invention, au contraire, le temps de traitement 83 est d'environ 210 s, qui se répartissent de façon presque égale entre la durée d'application du faisceau laser 81 et la durée 82 d'accélération/décélération. Le traitement 83 peut être abrégé à environ 140 s en effectuant le traitement avec  $dy/dx = 16$ .

Comme décrit ci-dessus, en faisant en sorte que la vitesse du déplacement relatif entre la pièce 41 et le faisceau laser 51 soit faible selon l'invention, on peut réduire la charge s'exerçant sur le dispositif d'entraînement 30, même lorsque la vitesse de répétition de l'oscillateur laser 11 a été augmentée pour accélérer le traitement de trempe par choc laser.

En particulier, lors de l'exécution de la trempe par choc laser sur une structure de grande taille en cours d'utilisation, par exemple, via l'application à cette dernière d'un faisceau laser 51 tandis que la tête d'application de faisceau 17 se déplace, on peut donner une faible valeur à la vitesse de la tête d'application de faisceau 17 selon l'invention. Ceci donne la possibilité d'utiliser un dispositif d'entraînement 30 d'un poids et d'une taille réduits. Par conséquent, même dans le cas d'une collision accidentelle, qui serait due par exemple à une erreur de fonctionnement, des dommages apportés à la structure et au dispositif d'entraînement 30 peuvent être réduits.

Dans le cas d'une trempe par choc laser appliquée à une pièce dans un espace étroit, par exemple, une structure comprise dans un réacteur nucléaire, il peut se trouver un cas où il est difficile de traiter toute la zone de traitement 46 avec un seul type de dispositif d'entraînement 30 ou bien un cas où la zone de traitement 46 tout entière n'est pas accessible depuis une unique direction, et n'est accessible que par plusieurs chemins. Dans ce cas, le traitement est généralement effectué de manière divisée, un chevauchement des traitements entre zones de traitement divisées étant réalisé. Lors du traitement d'une plus petite zone de traitement 46 comme dans le présent cas, le temps d'accélération/décélération 82 du dispositif d'entraînement 30 par rapport au temps 81 d'application de faisceau laser devient plus grand, ce qui conduit à un moindre rendement de traitement. L'invention se révèle particulièrement utile pour un tel traitement.

25

#### Quatrième mode de réalisation

La figure 12 est un schéma explicatif montrant un procédé de trempe par choc laser selon un quatrième mode de réalisation de l'invention. L'appareil représenté sur la figure 4 peut être utilisé pour appliquer le procédé de trempe par choc laser de ce mode de réalisation. Ainsi, des éléments identiques à ceux du premier mode de réalisation seront désignés ici par les mêmes numéros de référence et on omettra d'en donner une deuxième description.

Avec le troisième mode de réalisation décrit ci-dessus, en faisant en sorte que l'intervalle d'application de faisceau (dx) du faisceau laser 51 dans la direction de déplacement relatif entre la pièce 41 et le



faisceau laser 51 soit plus petit que l'intervalle d'application de faisceau (dy) dans la direction perpendiculaire à la direction de déplacement relatif, on peut diminuer la vitesse de déplacement entre la tête d'application de faisceau 17 et le dispositif d'entraînement 30. Ceci permet de réduire la charge appliquée au dispositif d'entraînement 30 et d'accélérer le traitement de trempe par choc laser.

Comme décrit ci-dessus en liaison avec la figure 9, lorsque la vitesse de déplacement du faisceau laser 51 est rendue extrêmement basse, l'intervalle (dy) entre les taches d'application de faisceau 45 dans la direction Y devient plus grand que le diamètre (D) de la tache d'application de faisceau 45, ce qui conduit à la formation de lacunes, c'est-à-dire de parties non traitées, dans les taches d'application de faisceau de la zone de traitement 46. Bien qu'un effet suffisant de trempe par choc laser puisse être obtenu lorsque la lacune est de quatre fois le diamètre (D) de la tache d'application de faisceau 45, ou une grandeur plus petite, c'est-à-dire lorsque dy vaut cinq fois D, ou moins, comme décrit ci-dessus, l'effet peut varier d'un endroit à un autre.

Avec le quatrième mode de réalisation, la tache d'application de faisceau 45 du faisceau laser 51 sur la surface de la pièce 41 reçoit une forme allongée, comme représenté sur la figure 12, et le faisceau laser 51 se déplace dans la direction (direction X de la figure 12) perpendiculairement à la direction longitudinale de la tache d'application de faisceau 45. Ceci donne la possibilité de réduire la charge s'exerçant sur le dispositif d'entraînement 30 et d'augmenter encore la vitesse de traitement ainsi que d'effectuer une trempe par choc laser sans variation dans le traitement.

Selon le mode d'application de réseau qui est illustré sur la figure 12, on recueille un faisceau laser d'énergie pulsée 200 mJ et de largeur d'impulsions 8 ns au moyen d'une lentille convexe cylindrique, de façon que la tache d'application de faisceau prenne la forme d'une ellipse dont l'axe majeur est de 9,25 mm et l'axe mineur de 0,2 mm et on l'applique à la surface d'acier inoxydable à raison de 36 impulsions par millimètre carré. Les contraintes résiduelles se trouvant au niveau de la surface après traitement sont du type compression, -645 MPa, et les contraintes résiduelles sont passées de la traction à la compression dans la région qui va jusqu'à la profondeur d'environ un millimètre par rapport à

la surface. L'effet lié à l'amélioration des contraintes résiduelles est semblable à celui représenté sur la figure 3. La vitesse de déplacement du faisceau laser 51 et, par conséquent, du dispositif d'entraînement est de 0,9 mm/s.

- 5 Le tableau 1 montre la comparaison de la vitesse de déplacement du faisceau laser 51 selon le quatrième mode de réalisation avec celles de la technique antérieure et du troisième mode de réalisation. Selon le quatrième mode de réalisation, la vitesse de déplacement du faisceau laser 51 et, par conséquent, du dispositif d'entraînement 30 vaut  
 10 environ 1/56 fois celle de la technique antérieure ( $dy/dx = 1$ ), et vaut 1/28 ( $dy/dx = 4$ ) ou bien 1/14 ( $dy/dx = 16$ ) de celle du troisième mode de réalisation. Ainsi, le quatrième mode de réalisation de l'invention, tout en tirant profit d'un même effet d'amélioration des contraintes résiduelles,  
 15 peut matériellement réduire la charge s'exerçant sur le dispositif d'entraînement 30.

Tableau 1

Forme et taille de la tache d'application de faisceau		dy/dx	Vitesse de déplacement	Remarques	Conditions de traitement
Cercle	0,8 mm $\varnothing$	1	50 mm/s	Technique antérieure, figure 6	Vitesse de répétition du laser : 300 Hz, nombre d'impulsions appliquées : 36 impulsions/mm <sup>2</sup>
	0,8 mm $\varnothing$	4	25 mm/s	Présente invention, figure 8A	
	0,6 mm $\varnothing$	16	12,5 mm/s	Présente invention, figure 8B	
Ellipse	9,25 mm x 0,2 mm		0,9 mm/s	Présente invention, figure 12	

- 20 Lors du traitement d'une zone affectée par la chaleur d'une structure de grande taille selon le quatrième mode de réalisation de l'invention, par exemple, le traitement voulu peut être réalisé par

conformation du faisceau laser 51 suivant une tache d'application de faisceau elliptique ayant une longueur d'environ 10 mm et déplacement du faisceau laser le long d'une ligne de soudage. Selon la technique antérieure, le mouvement du faisceau laser 51 est bidimensionnel, et  
5 l'opération d'arrêt (décélération) ainsi que l'opération de départ (accélération) du dispositif d'entraînement 30 sont chacune nécessaires à chaque fois que le faisceau laser 51 atteint la frontière 47 de la zone de traitement. Selon l'invention, dans ce mode de réalisation, au contraire, ces opérations ne sont nécessaires chacune qu'une fois dans le traitement  
10 ci-dessus présenté, ce qui conduit à une accélération du traitement et à une durabilité améliorée pour le dispositif d'entraînement 30.

De plus, selon la technique antérieure, la forme de la tache d'application de faisceau 45 est un cercle, ayant par exemple un diamètre de 1 mm et, par conséquent, une précision de l'ordre de  $\pm 0,1$  mm est  
15 nécessaire pour le déplacement du dispositif d'entraînement 30 dans la direction Y. Par ailleurs, lors de l'exécution du traitement avec une tache d'application de faisceau elliptique 45, ayant par exemple un axe majeur de 10 mm, selon l'invention, pour ce mode de réalisation, une précision de l'ordre de  $\pm 1$  mm suffira pour le déplacement du dispositif  
20 d'entraînement 30 dans la direction Y si un tel déplacement est nécessaire. Ceci augmente matériellement la liberté de conception du dispositif d'entraînement 30.

#### Cinquième mode de réalisation

25 La figure 13 est un schéma explicatif illustrant un appareil de traitement par choc laser selon un cinquième mode de réalisation de l'invention. L'appareil peut être utilisé pour mettre en œuvre le procédé de trempe par choc laser décrit ci-dessus selon le quatrième mode de réalisation. Les éléments semblables à ceux de la figure 1 seront désignés  
30 par les mêmes numéros de référence, et on omettra d'en donner une deuxième description.

Le faisceau laser pulsé 51, émis par l'oscillateur laser 11, passe dans le dispositif 12 d'ajustement de puissance, l'obturateur 13, un dispositif d'étalement de faisceau 91 et un miroir 92 et pénètre dans la  
35 tête d'application de faisceau 17 qui possède une lentille convexe cylindrique 93. Le dispositif d'étalement de faisceau 91 a pour fonction

d'augmenter ou de diminuer la taille du faisceau laser 51 de façon à ajuster la taille du faisceau 51 qui pénètre dans la tête d'application de faisceau 17.

5 La figure 14 est un schéma explicatif illustrant de manière conceptuelle la fonction de la lentille convexe cylindrique 93 dans ce mode de réalisation. La lentille convexe cylindrique 93 est disposée de façon que son axe soit sensiblement perpendiculaire au faisceau laser 51. Lorsque le faisceau laser 51 qui pénètre dans la lentille convexe cylindrique 93 possède une coupe verticale cylindrique, la section droite du faisceau laser 51 devient elliptique en passant dans la lentille convexe cylindrique 93, et la tache d'application de faisceau 45 se trouvant sur la surface de la pièce 41 possède la forme d'une ellipse allongée.

10 Dans ce mode de réalisation, la surface de la pièce 41 subit un traitement de trempe par choc laser via un miroir mobile 94 et la tête d'application de faisceau 17 à une vitesse prédéterminée au moyen du dispositif d'entraînement 30. Au moment du traitement, la taille de la tache d'application de faisceau 45 suivant la direction longitudinale peut être ajustée au moyen du dispositif 91 d'étalement de faisceau. Si cela est nécessaire, le miroir mobile 94 et la tête d'application de faisceau 17 peuvent être déplacés de manière bidimensionnelle dans un plan horizontal, ou bien la pièce 41 peut être déplacée au moyen de la fonction d'ajustement de position du support 42, de façon à traiter une zone plus large.

15 Dans le mode de réalisation présenté sur les figures 13 et 14, le rendement de traitement est le plus élevé lorsque le dispositif d'entraînement 30 se déplace dans la direction perpendiculaire à la direction longitudinale de la tache elliptique d'application de faisceau 45. Par conséquent, lorsqu'on fixe une direction de déplacement voulue pour le dispositif d'entraînement 30, on peut faire tourner la lentille convexe cylindrique 93 tout en la maintenant coaxiale au faisceau laser 51 de manière à effectuer un traitement efficace.

20 La figure 15 est un schéma montrant le concept de l'invention dans le cas où on utilise un miroir concave cylindrique 95 à la place de la lentille convexe cylindrique 93. Le miroir concave cylindrique 95 possède une forme telle que la ligne d'intersection avec un plan parallèle à la feuille de papier est une partie de parabole et la ligne d'intersection avec le plan

vertical par rapport à la feuille de papier est une ligne droite. Puisqu'un faisceau laser incident 51 parallèle à l'axe de la parabole est réfléchi de façon qu'il soit amené au foyer, l'utilisation du miroir concave cylindrique 95 peut amener le même effet que l'utilisation de la lentille convexe cylindrique 93 (figure 14).

Les figures 16A et 16B sont des schémas conceptuels illustrant une manière de traiter la surface de la pièce 41, plus uniformément selon ce mode de réalisation, toutes deux montrant schématiquement la tête d'application de faisceau 17 dotée d'un dispositif d'homogénéisation 97, comme représenté depuis des directions qui diffèrent de  $90^\circ$ . Comme on peut le voir sur la figure 16A, le dispositif d'homogénéisation 97 est un composant optique se présentant sous la forme d'un prisme d'angle obtus, et est ainsi conçu que la moitié droite et la moitié gauche du faisceau laser incident 51 se chevaucheront l'un l'autre dans la tache d'application de faisceau 45.

La figure 17A montre la distribution d'intensité du faisceau laser 51 dans la tache d'application de faisceau 45, telle qu'elle est obtenue au moyen de la tête d'application de faisceau 17 comportant le dispositif d'homogénéisation 97, tandis que la figure 17B montre une distribution d'intensité comparative telle qu'on en obtient en utilisant la tête d'application de faisceau 17 dépourvue d'un dispositif d'homogénéisation. Sur les figures 17A et 17B, l'abscisse désigne la position dans la tache d'application de faisceau 45, et l'ordonnée désigne la densité de puissance de crête (valeur relative de la densité). Comme cela apparaît à partir des données de comparaison, le fait de prévoir le dispositif d'homogénéisation 97 (figure 17B) peut égaliser la distribution d'intensité présente dans la tache d'application de faisceau 45, ce qui donne une distribution d'intensité sensiblement plate.

Alors que, dans ce mode de réalisation, le dispositif d'homogénéisation 97 est disposé avant la lentille convexe cylindrique 93 (du côté oscillateur laser), on peut obtenir le même effet si on dispose le dispositif d'homogénéisation 97 après la lentille 93. De plus, au lieu d'utiliser, comme dispositif d'homogénéisation 97, un composant optique se présentant sous la forme d'un prisme à angle obtus, il est également possible d'utiliser un kaléidoscope, un ensemble de microlentilles, etc.

### Sixième mode de réalisation

La figure 18 est un schéma explicatif illustrant la tête d'application de faisceau qui est destinée à être utilisée dans un appareil de trempe par choc laser selon un sixième mode de réalisation de l'invention. La tête d'application de faisceau est utilisée à la place de la tête d'application de faisceau 17 de l'appareil de trempe par choc laser de la figure 1. Les éléments semblables à ceux de la figure 1 sont désignés par des numéros de référence identiques et on omettra d'en donner une deuxième description.

Un exemple de pièce 41 destinée à être utilisée dans ce mode de réalisation peut être donné par la surface interne d'un tuyau à petit alésage. La tête d'application de faisceau 17 est fixée de manière à être sensiblement coaxiale à une pièce tubulaire 41 au moyen d'un gabarit de positionnement non représenté. Le faisceau laser 51 émis par l'oscillateur laser 11 est transmis par le miroir 92, et ainsi de suite, et pénètre dans la lentille 16 placée à l'intérieur de la tête d'application de faisceau 17. Le faisceau laser 51 qui a traversé la lentille 16 est graduellement recueilli et réfléchi par un miroir conique 96 sous un angle d'environ  $90^\circ$  de façon à devenir un faisceau laser radial 51, et le faisceau laser radial 51 est appliqué à la surface interne de la pièce tubulaire 41. Le numéro de référence 98 désigne une fenêtre d'entrée cylindrique composée d'un solide transparent vis-à-vis de la longueur d'onde du laser. Naturellement, le trajet de lumière du laser entre la fenêtre d'entrée 98 et la pièce 41 est rempli au moyen d'un liquide.

Lorsque la distance focale de la lentille 16 est rendue presque égale à la distance optique entre la lentille 16 et la pièce 41 par ajustement de la distance focale de la lentille 16 ou de la position de réglage de la lentille 16, la tache d'application de faisceau 45 se trouvant à la surface de la pièce 41 présente la forme d'un anneau étroit. La surface interne de la pièce tubulaire 41 peut être traitée par application, à la surface, d'une semblable tache d'application de faisceau 45 pour le faisceau laser 51 tandis qu'on déplace la tête d'application de faisceau 17 dans la direction axiale de la pièce tubulaire 41.

Dans le cas du traitement de la surface interne de la pièce tubulaire 41 par la technique classique, le faisceau laser 51 est émis par la tête d'application de faisceau 17 tandis qu'on fait tourner la tête

d'application de faisceau 17 à une vitesse élevée et, dans le même temps, la tête d'application de faisceau 17 se déplace de façon continue dans la direction axiale de la pièce tubulaire 17, de sorte que la surface interne reçoit le faisceau laser 51 suivant une spirale. Le procédé classique  
5 nécessite donc de prévoir un moyen coulissant rotatif, ce qui rend complexe le dispositif d'entraînement 30. De plus, le procédé classique implique une haute vitesse de fonctionnement pour le dispositif d'entraînement 30 et, par conséquent, lui applique une lourde charge, ce qui impose une limitation à l'augmentation de la vitesse de traitement.

10 Selon ce mode de réalisation, par ailleurs, le faisceau laser 51 est émis radialement de façon qu'un traitement sous 360° simultané puisse être effectué sans qu'on fasse tourner la tête d'application de faisceau 17. Ainsi, il n'est pas nécessaire de faire tourner à grande vitesse la tête d'application de faisceau 17 non plus que d'utiliser un moyen  
15 coulissant rotatif. Ceci peut matériellement simplifier la structure du dispositif d'entraînement 30 et augmenter remarquablement la vitesse du traitement.

Alors que, dans ce mode de réalisation, on utilise la lentille 16 en combinaison avec le miroir conique 96 pour former le faisceau laser radial 51, on peut aussi former ce même faisceau radial en utilisant un  
20 miroir concave à la place de la lentille 16, en combinaison avec le miroir conique 96.

Alors que la pente du miroir conique 96 possède une forme telle que la ligne d'intersection de la pente avec un plan comportant l'axe du miroir 96 est une partie de parabole, le faisceau lumineux incident 51, qui est parallèle à l'axe, peut être amené au foyer de la parabole et, par  
25 conséquent, la lentille 16 devient inutile.

Bien entendu, l'homme de l'art sera en mesure d'imaginer, à partir des procédés et des dispositifs dont la description vient d'être  
30 donnée à titre simplement illustratif et nullement limitatif, diverses variantes et modifications ne sortant pas du cadre de l'invention.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de trempe par choc laser permettant d'effectuer le traitement de surface d'une pièce (41) en contact avec un liquide (22) par application, au travers du liquide (22), sur la surface de la pièce (41), d'un faisceau laser pulsé (51) qui est émis par intermittence en provenance d'un dispositif d'application de faisceau laser (10), caractérisé en ce qu'il comprend en outre les opérations suivantes :
- 5
- fournir un solide (24) qui est transparent vis-à-vis de la longueur d'onde du laser, afin de servir de fenêtre d'entrée à la surface du liquide (23) ;
- 10
- permettre que le liquide (22) soit présent dans le trajet de lumière du faisceau laser (51) entre le solide (24) et la surface de la pièce (41) ; et
- 15
- permettre que le faisceau laser entre dans le solide (24) et appliquer, au travers du liquide (22), à la surface de la pièce (41), le faisceau laser (51), de sorte que la trempe par choc de la surface de la pièce (41) soit effectuée.
2. Procédé de trempe par choc laser permettant d'effectuer le traitement de surface d'une pièce (41) en contact avec un liquide (22) par application, au travers du liquide, à la surface de la pièce (41), d'un faisceau laser pulsé (51) qui est émis par intermittence en provenance d'un dispositif d'application de faisceau laser, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les opérations suivantes :
- 20
- remplir le trajet de lumière du laser, de la sortie laser du dispositif d'application de faisceau laser à la surface de la pièce, au moyen du liquide (22) qui est transparent vis-à-vis de la longueur d'onde du laser appliquant le faisceau laser (51) ; et
- 25
- appliquer le faisceau laser (51), au travers du liquide (22), à la surface de la pièce (41), de sorte que la trempe par choc de la surface de la pièce soit effectuée.
- 30
3. Procédé de trempe par choc laser selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les opérations suivantes :
- 35
- ajuster la vitesse du déplacement relatif entre le faisceau laser (51) et la pièce (41) de façon que l'intervalle d'application du faisceau



laser qui est appliqué à la surface de la pièce diffère selon qu'il s'agit de la direction du mouvement relatif entre la pièce (41) et le faisceau laser (51) ou de la direction perpendiculaire à la direction de déplacement relatif ;

appliquer, au travers du liquide (22), à la surface de la pièce  
5 (41), le faisceau laser (51) émis en provenance du dispositif d'application de faisceau laser ; et

déplacer la pièce (41) et le faisceau laser (51) l'un par rapport à l'autre à la vitesse ainsi ajustée de déplacement relatif, de sorte que la trempe par choc de la surface de la pièce soit effectuée.

10 4. Procédé de trempe par choc laser selon quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les opérations suivantes :

donner au faisceau laser émis par le dispositif d'application de  
faisceau laser une forme en section droite telle que la tache d'application  
15 de faisceau du faisceau laser sur la surface de la pièce prenne une forme allongée ;

appliquer la tache allongée d'application de faisceau à la surface de la pièce, au travers du liquide ; et

déplacer la pièce et le faisceau laser l'un par rapport à l'autre,  
20 de sorte que la trempe par choc de la surface de la pièce soit effectuée.

5. Procédé de trempe par choc laser selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les opérations suivantes :

placer une pièce tubulaire (41) coaxialement à l'axe lumineux du faisceau laser (51) ;

25 donner au faisceau laser émis en provenance du dispositif d'application de faisceau laser une forme en section droite telle que la tache d'application de faisceau du faisceau laser sur la surface périphérique interne de la pièce prenne la forme d'un anneau étroit ;

appliquer, au travers du liquide, à la surface périphérique  
30 interne de la pièce, la tache d'application de faisceau en forme d'anneau étroit ; et

déplacer la pièce et le faisceau l'un par rapport à l'autre dans la direction axiale de la pièce, de sorte que la trempe par choc de la surface périphérique interne de la pièce soit effectuée.

35 6. Procédé de trempe par choc laser selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les opérations suivantes :

ajuster la vitesse de déplacement relatif entre le faisceau laser et la pièce de façon que l'intervalle d'application de faisceau du faisceau laser appliqué à la surface de la pièce diffère selon qu'il s'agit de la direction de déplacement relatif entre la pièce et le faisceau laser ou de la direction  
5 perpendiculaire à la direction de déplacement relatif ; et déplacer la pièce et le faisceau laser l'un par rapport à l'autre à la vitesse ajustée de déplacement relatif.

7. Procédé de trempe par choc laser selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'intervalle d'application de faisceau du faisceau laser  
10 appliqué à la surface de la pièce est plus petit dans la direction de déplacement relatif entre la pièce et le faisceau laser que dans la direction perpendiculaire à la direction de déplacement relatif.

8. Procédé de trempe par choc laser selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'intervalle d'application de faisceau du faisceau laser  
15 suivant la direction qui est perpendiculaire à la direction de déplacement relatif entre la pièce et le faisceau laser n'est pas supérieur à cinq fois la taille de la tache d'application de faisceau du faisceau laser.

9. Procédé de trempe par choc laser selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les opérations suivantes :  
20 donner au faisceau laser émis en provenance du dispositif d'application de faisceau laser une forme en section droite telle que la tache d'application de faisceau du faisceau laser sur la surface de la pièce prenne une forme allongée ; et appliquer, au travers du liquide, à la surface de la pièce, la tache d'application de faisceau allongée.

25 10. Procédé de trempe par choc laser selon la revendication 4, caractérisé en ce que la tache d'application de faisceau du faisceau laser possède une forme elliptique ou rectangulaire.

11. Procédé de trempe par choc laser selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les opérations suivantes :  
30 positionner la pièce de forme tubulaire coaxialement à l'axe de lumière du faisceau laser ; donner au faisceau laser émis en provenance du dispositif d'application de faisceau laser une forme en section droite telle que la tache d'application de faisceau du faisceau laser sur la surface périphérique interne de la pièce prenne la forme d'un anneau étroit ; et  
35 appliquer, au travers du liquide, à la surface périphérique interne de la pièce, la tache d'application de faisceau en forme d'anneau étroit.

12. Appareil de trempe par choc laser, caractérisé en ce qu'il comprend :

5 un dispositif (10) d'application de faisceau laser comportant un oscillateur laser (11) et un dispositif optique (15, 16, 17) servant à diriger un faisceau laser (51), qui est émis en provenance de l'oscillateur laser, à destination de la surface d'une pièce (41) ;

un dispositif d'entraînement (30) servant à déplacer le faisceau laser par rapport à la pièce le long de la surface de la pièce ;

10 un élément solide (24) qui est transparent vis-à-vis de la longueur d'onde du laser, l'élément solide étant disposé en une certaine position éloignée de la surface de la pièce et servant de fenêtre d'entrée à une surface de liquide ; et

15 un récipient (21) servant à remplir le trajet de lumière du faisceau laser entre l'élément solide et la surface de la pièce au moyen d'un liquide.

13. Appareil de trempe par choc laser, caractérisé en ce qu'il comprend :

20 un dispositif (10) d'application de faisceau laser comportant un oscillateur laser (11) et un dispositif optique (15, 16, 17) servant à diriger un faisceau laser (51), qui est émis en provenance de l'oscillateur laser, à destination de la surface d'une pièce (41) ;

un dispositif d'entraînement (30) servant à déplacer le faisceau laser par rapport à la pièce le long de la surface de la pièce ; et

25 un éjecteur (61) de liquide, placé au niveau de la sortie laser du dispositif d'application de faisceau laser, et servant à projeter un liquide qui est transparent vis-à-vis de la longueur d'onde du laser dans le faisceau de manière coaxiale par rapport au faisceau laser de façon à remplir le trajet de lumière du faisceau laser, de la sortie laser jusqu'à la surface de la pièce, au moyen du liquide.

30 14. Appareil de trempe par choc laser selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un moyen servant à commander la vitesse du déplacement relatif entre le faisceau laser et la pièce (41) de façon que l'intervalle d'application de faisceau du faisceau laser (51) appliqué à la surface de la pièce diffère selon qu'il s'agit de la direction de déplacement relatif entre la pièce et le faisceau laser ou de la direction perpendiculaire à la direction de déplacement relatif.

35

15. Appareil de trempe par choc laser selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce que le dispositif optique comporte un moyen permettant de donner au faisceau laser émis en provenance du dispositif d'application de faisceau laser (10) une forme en section droite telle que la tache (45) d'application de faisceau du faisceau laser sur la surface de la pièce (41) prenne une forme allongée.

16. Appareil de trempe par choc laser selon la revendication 15, caractérisé en ce que le dispositif optique comporte une lentille convexe cylindrique (93) ou un miroir concave cylindrique (95), et donne au faisceau laser, qui sort de la lentille convexe cylindrique ou du miroir concave cylindrique, une forme en section droite elliptique et applique le faisceau laser à la surface de la pièce.

17. Appareil de trempe par choc laser selon la revendication 15, caractérisé en ce que le dispositif optique comporte un dispositif d'homogénéisation (97) servant à égaliser la distribution d'intensité du faisceau laser, et une lentille convexe cylindrique (93) ou un miroir concave cylindrique (95), et donne au faisceau laser, qui sort de la lentille convexe cylindrique ou du miroir concave cylindrique, une forme en section droite rectangulaire et applique le faisceau laser à la surface de la pièce.

18. Appareil de trempe par choc laser selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce que le dispositif optique comporte, à son extrémité antérieure, un miroir symétrique par rapport à la rotation, qui réfléchit le faisceau laser incident (51), lequel est sensiblement parallèle à l'axe de symétrie du miroir, de manière à former un faisceau laser radial.

19. Appareil de trempe par choc laser selon la revendication 18, caractérisé en ce que le miroir symétrique par rapport à la rotation est un miroir conique (96) et est utilisé en combinaison avec une lentille convexe ou un miroir concave.

20. Appareil de trempe par choc laser selon la revendication 18, caractérisé en ce que la ligne d'intersection de la surface réfléchissante du miroir symétrique par rapport à la rotation avec un plan contenant l'axe de symétrie du miroir est une partie de parabole, et le foyer de la parabole se situe approximativement sur la surface de la pièce (41).

1 / 11

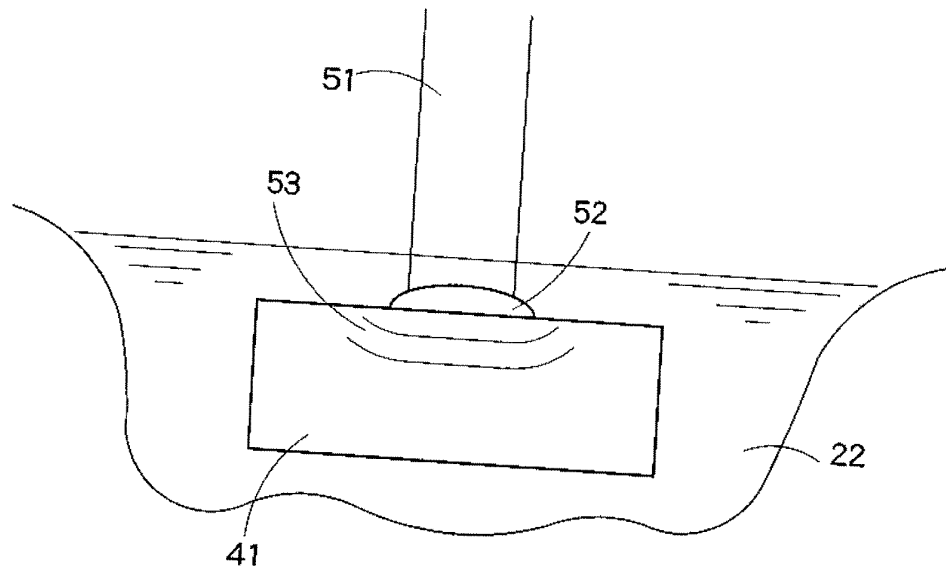


FIG. 1

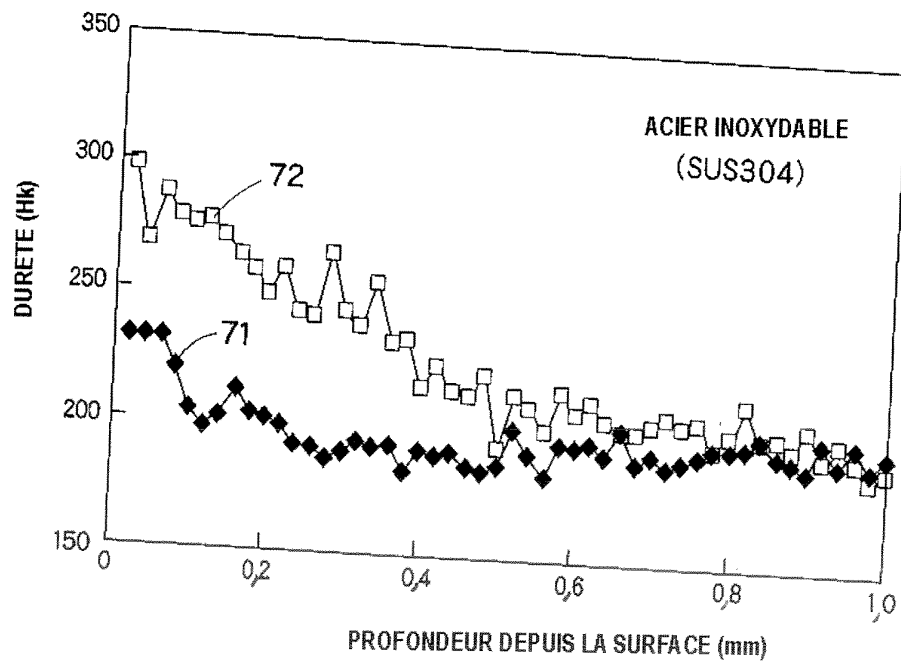


FIG. 2

2 / 11

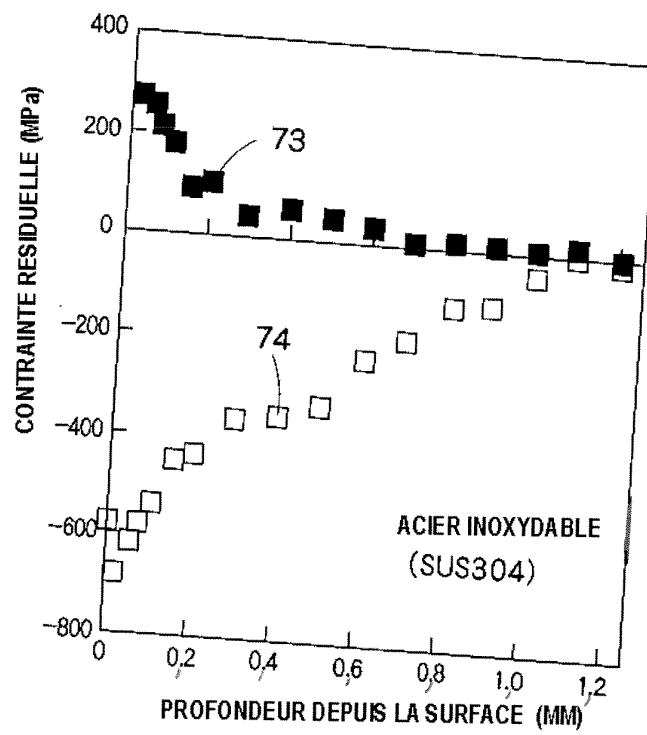


FIG. 3

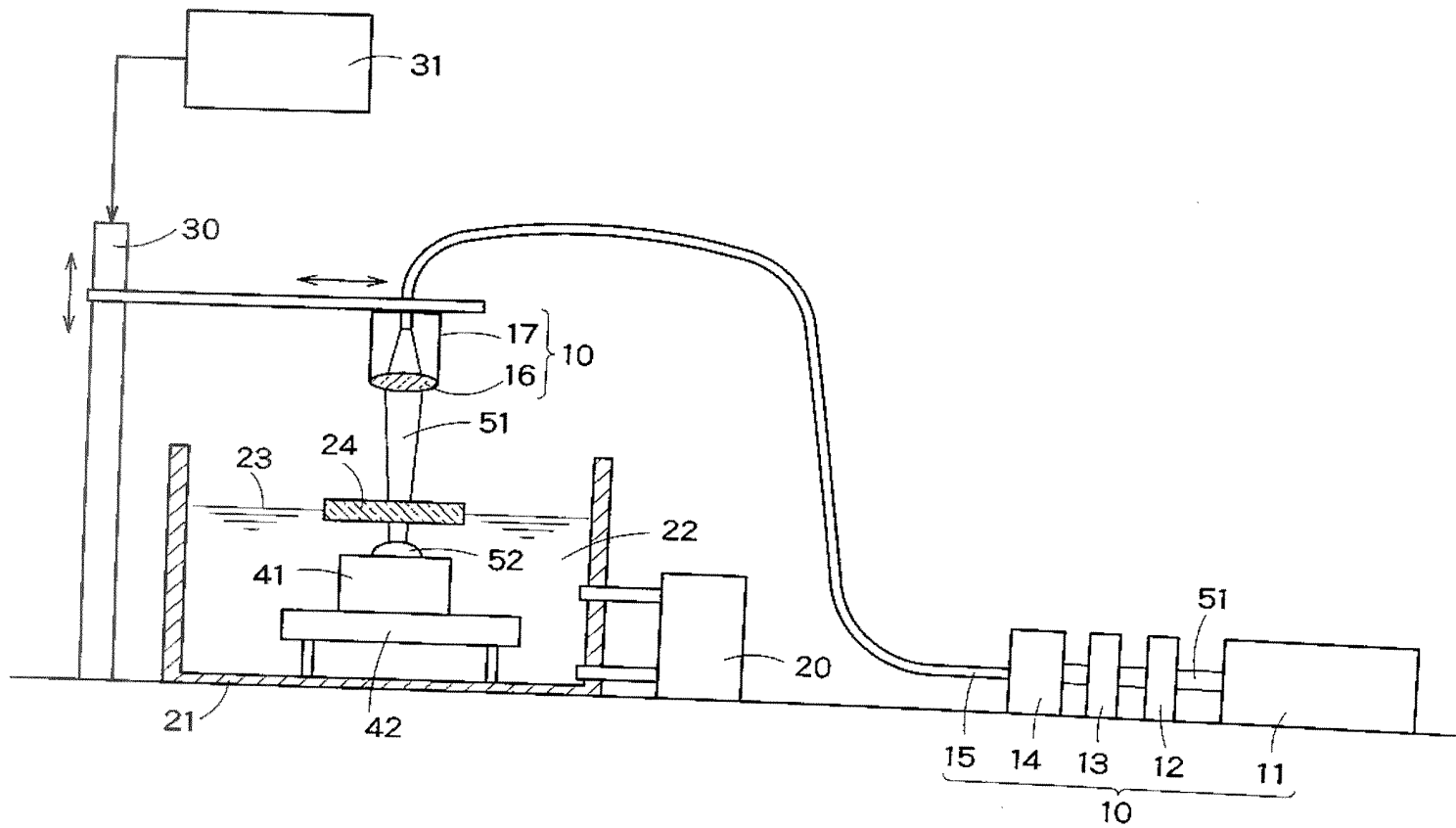


FIG. 4

3/11

4 / 11

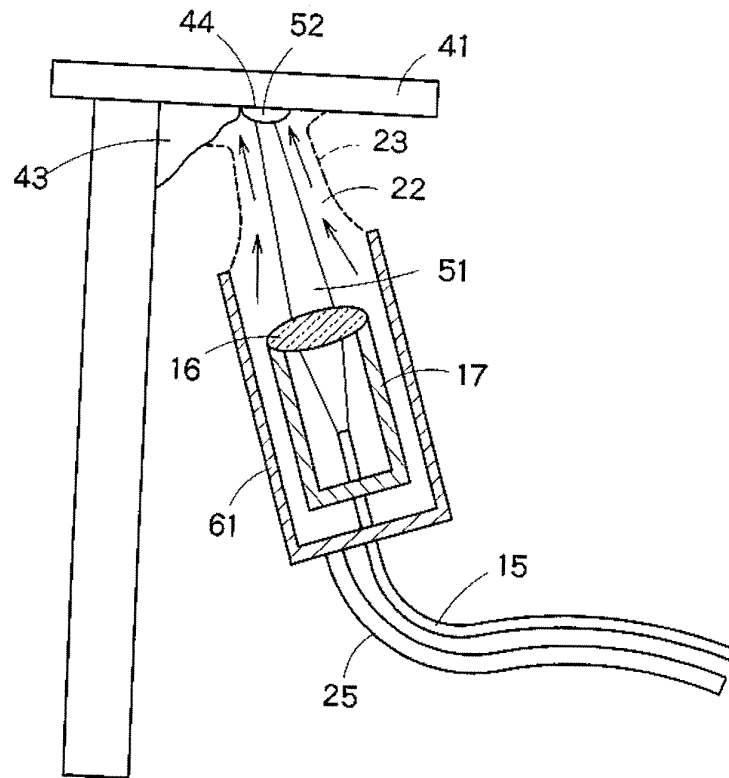


FIG. 5

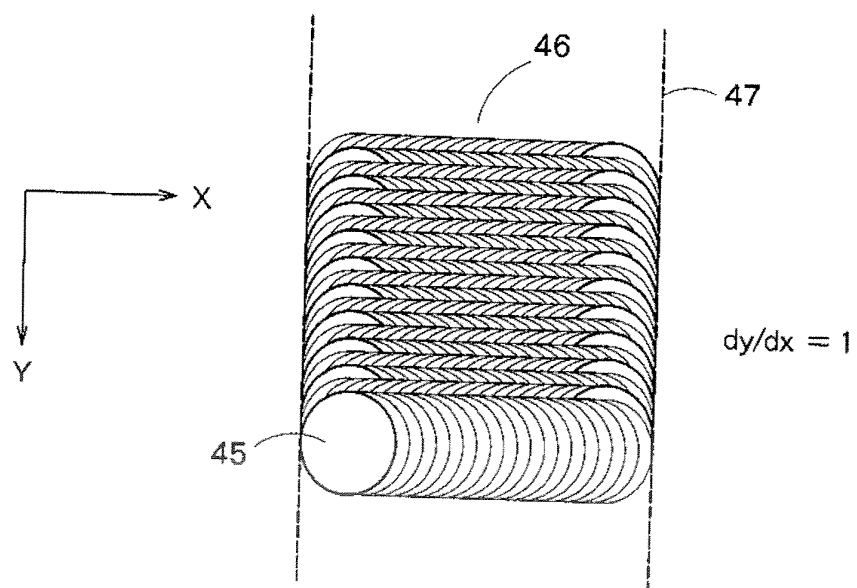


FIG. 6



5 / 11

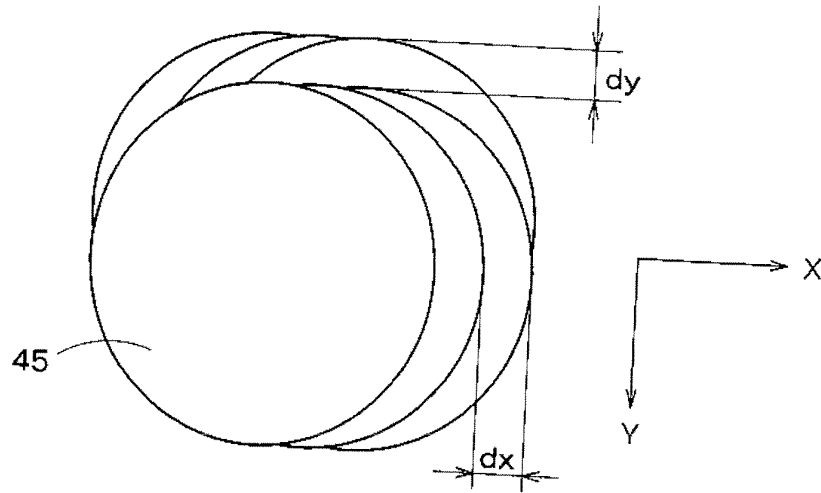


FIG. 7

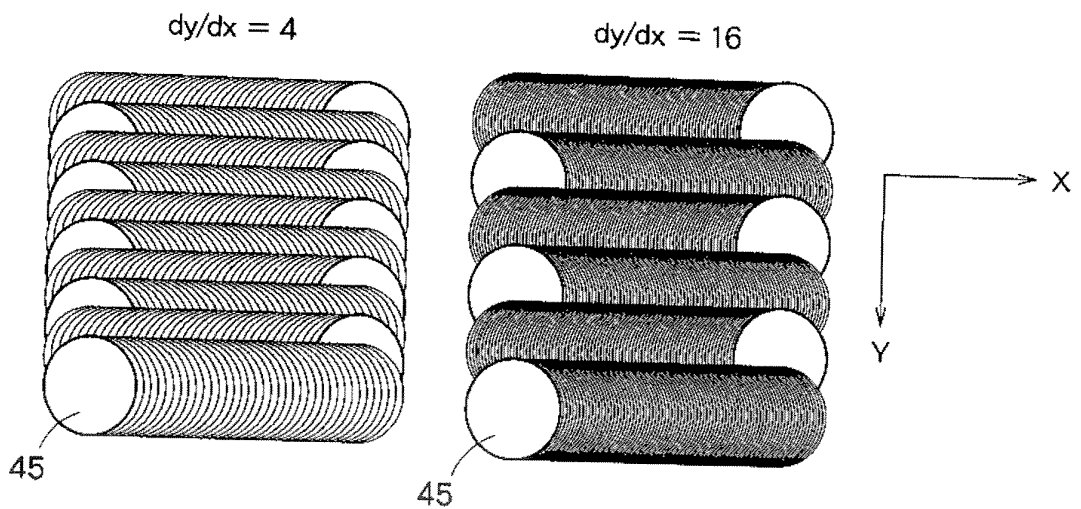


FIG. 8A

FIG. 8B

6/11

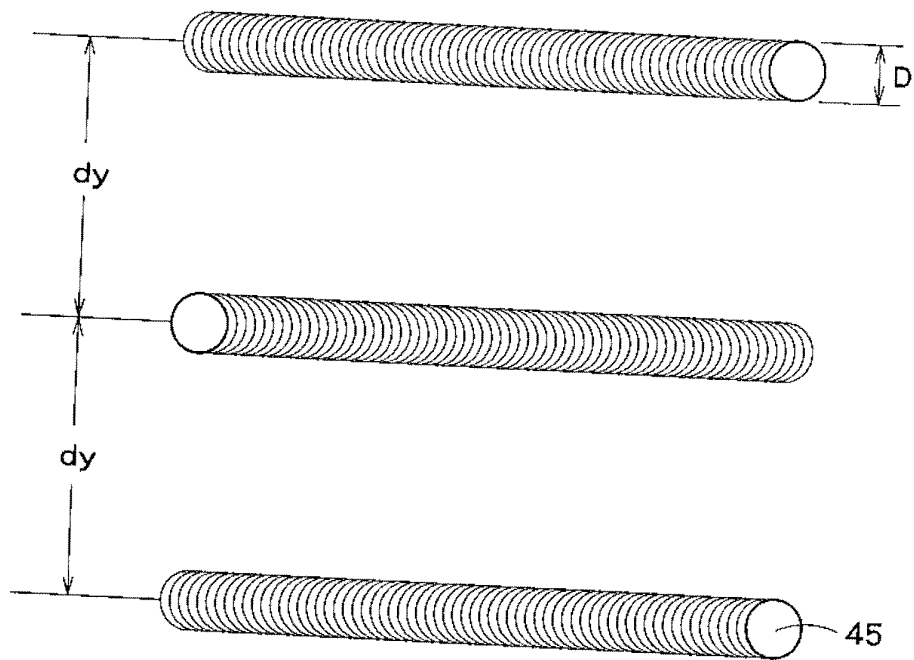


FIG. 9

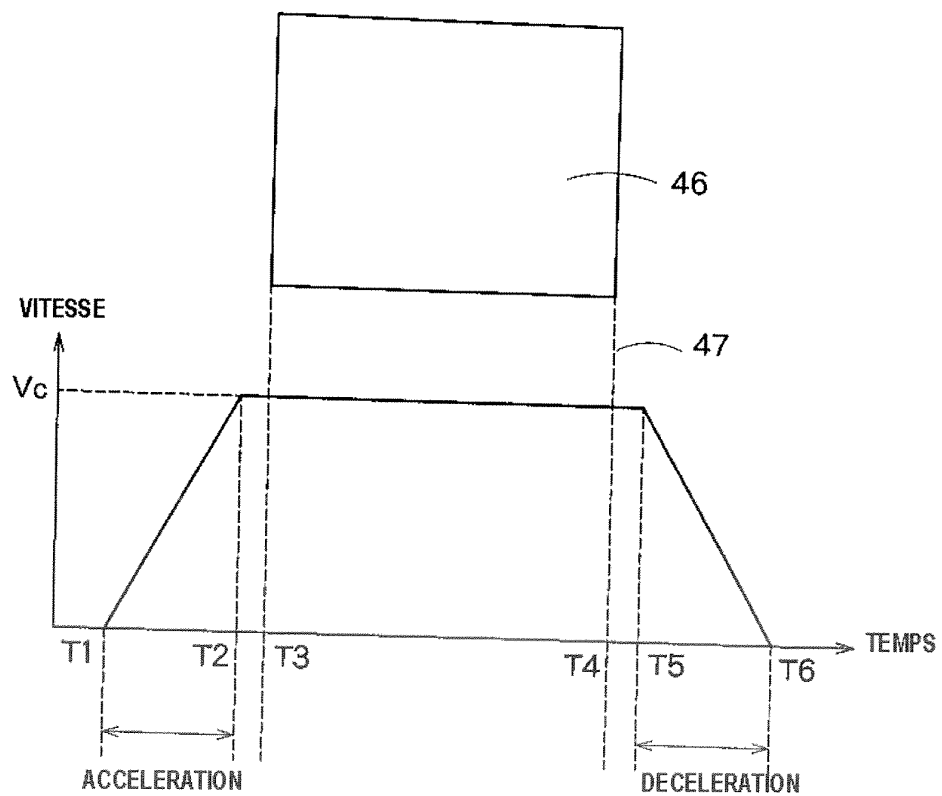


FIG. 10

7/11

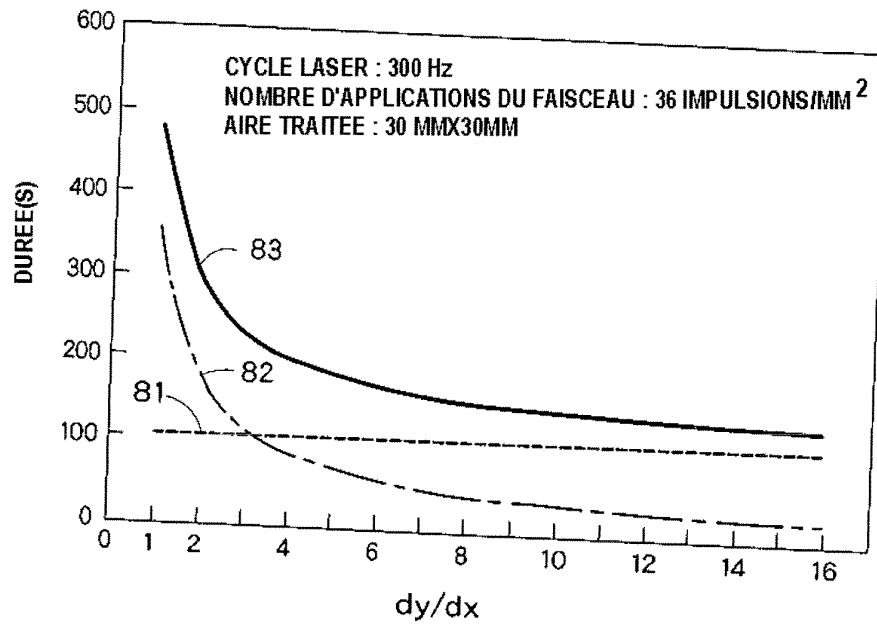


FIG. 11

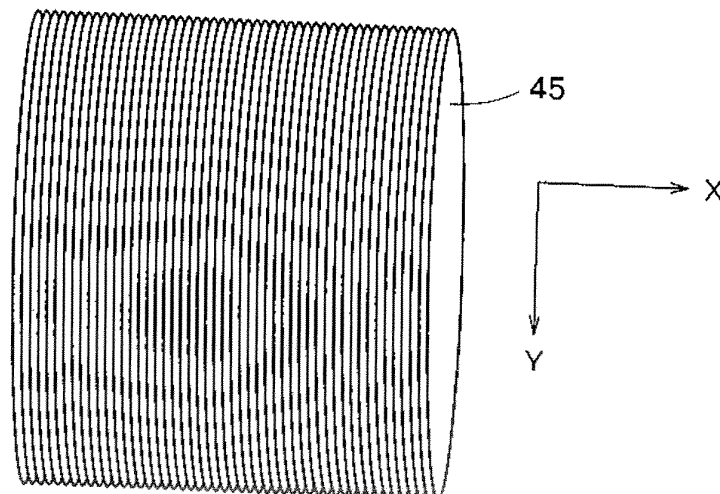


FIG. 12

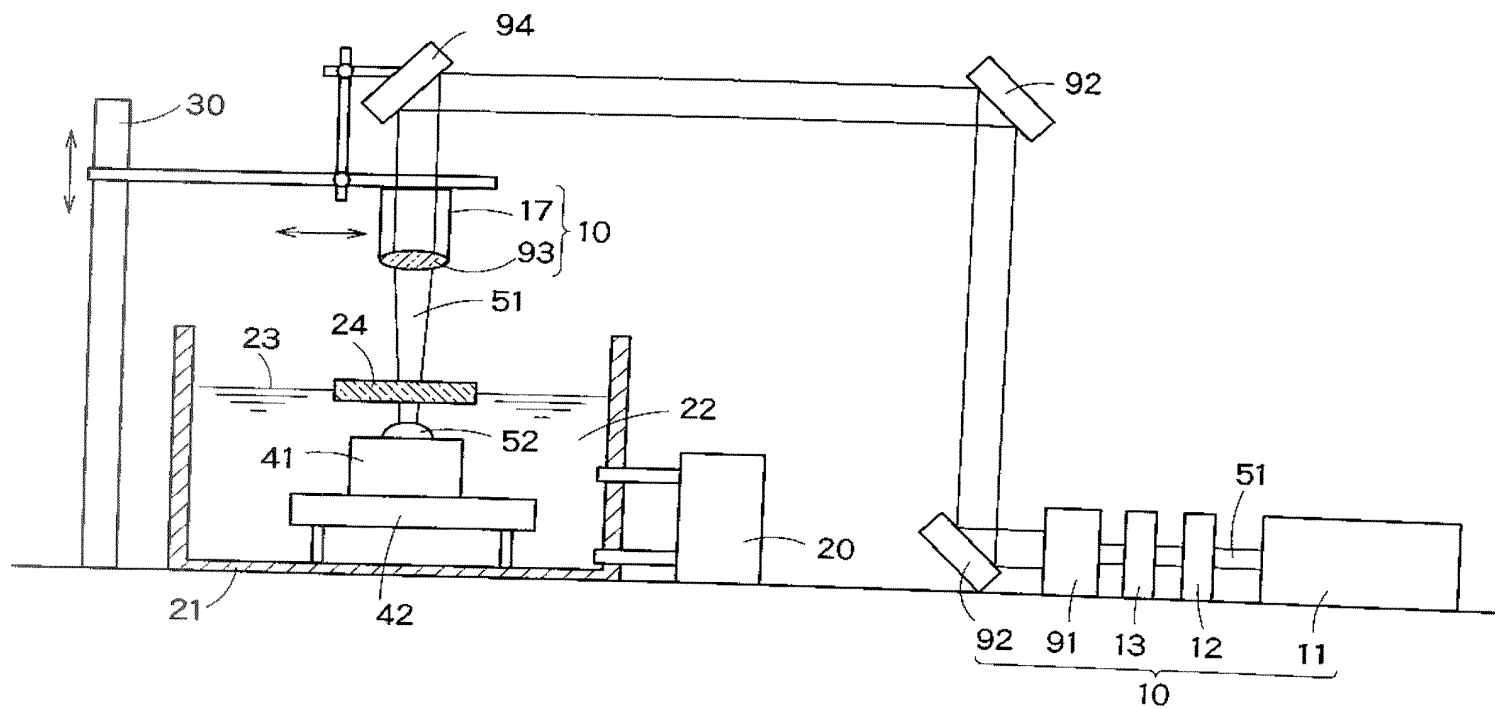


FIG. 13

8/11

9/11

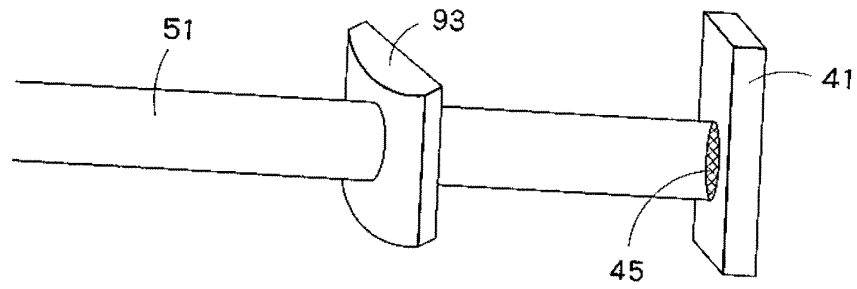


FIG. 14

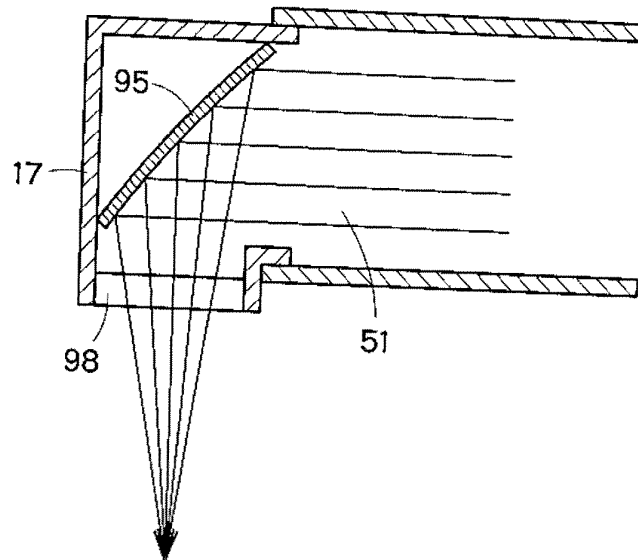


FIG. 15

10 / 11

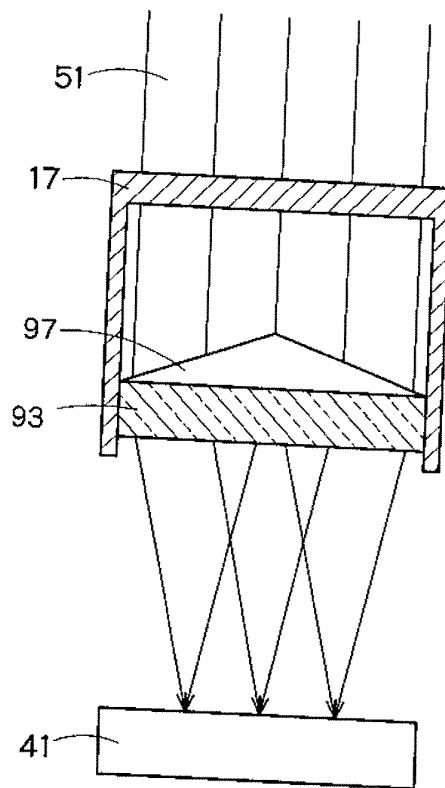


FIG. 16A

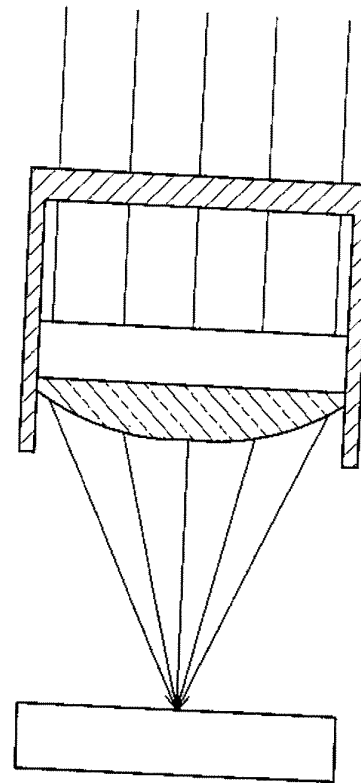


FIG. 16B

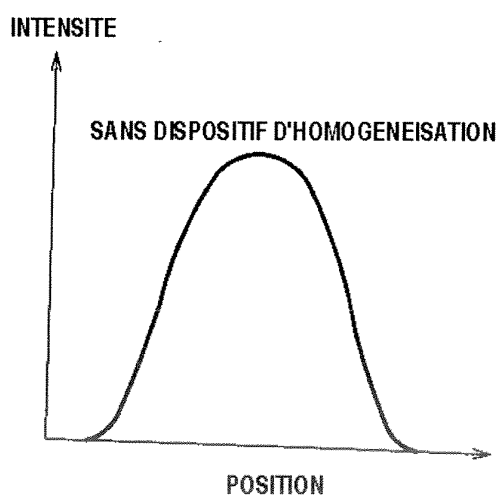


FIG. 17A

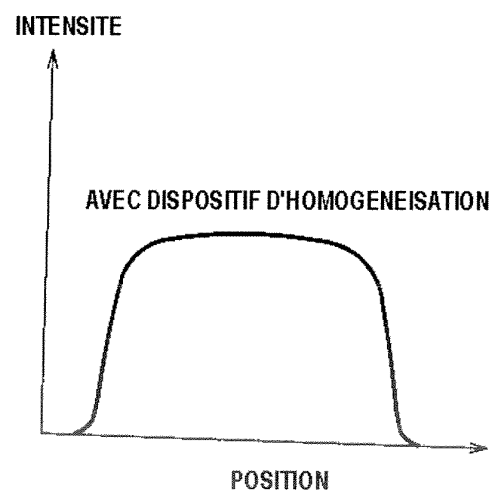
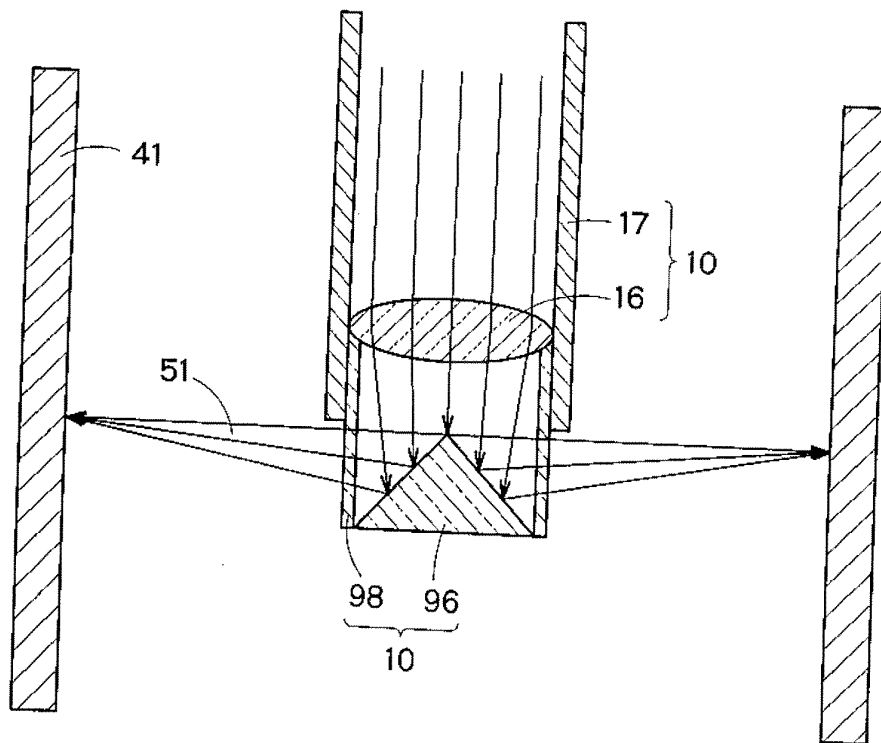


FIG. 17B

*11 / 11***FIG. 18**



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE PARTIEL**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

voir FEUILLE(S) SUPPLÉMENTAIRE(S)

N° d'enregistrement  
national

FA 682578  
FR 0651694

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendications concernées	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	WO 2005/031946 A (NISSAN MOTOR [JP]; TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO [JP]; SHIMADA MUNEKATSU) 7 avril 2005 (2005-04-07)	1,3,6-8, 12,14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  B23K C21D
Y	* le document en entier *	4,9-11, 15-20	
E	& EP 1 667 311 A (NISSAN MOTOR [JP]; TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO [JP]) 7 juin 2006 (2006-06-07) * le document en entier *	1,3,6-8, 12,14	
X	US 5 744 781 A (YEATON ROBERT L [US]) 28 avril 1998 (1998-04-28) * le document en entier *	1	
Y	JP 63 033189 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD; TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 12 février 1988 (1988-02-12) * figure 1 *	11,18-20	
Y	EP 1 288 317 A (GEN ELECTRIC [US]) 5 mars 2003 (2003-03-05) * le document en entier *	4,9,10, 15-17	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 décembre 2006		CAUBET, J	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			



**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0651694 FA 682578**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 22-12-2006

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2005031946 A	07-04-2005	EP 1667311 A1 JP 2005124386 A	07-06-2006 12-05-2005
EP 1667311 A	07-06-2006	WO 2005031946 A1 JP 2005124386 A	07-04-2005 12-05-2005
US 5744781 A	28-04-1998	AUCUN	
JP 63033189 A	12-02-1988	JP 1645183 C JP 3009833 B	28-02-1992 12-02-1991
EP 1288317 A	05-03-2003	CA 2398314 A1 PL 355305 A1 SG 106089 A1 US 2003042235 A1	28-02-2003 10-03-2003 30-09-2004 06-03-2003

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION  
FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande

FA 682578

FR 0651694

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

1. revendications: 1,3,4,6-12,14-20

Trempe par choc laser à travers un solide transparent

---

2. revendications: 2,5,13

Trempe par choc laser avec chemin optique entièrement liquide

---

La première invention a été recherchée.

La présente demande ne satisfait pas aux dispositions de l'article L.612-4 du CPI car elle concerne une pluralité d'inventions qui ne sont pas liées entre elles en formant un seul concept inventif général.

Les raisons pour lesquelles la présente demande porte sur 2 inventions non liées entre elles de telle sorte qu'elles ne formeraient qu'un seul concept inventif général, sont les suivantes:

L'objet de la revendication indépendante 1 est déjà connu, en effet le document WO 2005/031946 (D1) décrit:

Un procédé de trempe par choc laser (voir figure 4) permettant d'effectuer le traitement de surface d'une pièce (200) en contact avec un liquide (680) par application, au travers du liquide, sur la surface de la pièce d'un faisceau laser pulsé qui est émis par intermittence en provenance d'un dispositif d'application de faisceau laser, comprenant les opérations suivantes:

fournir un solide (670) qui est transparent vis-à-vis de la longueur d'onde du laser, afin de servir de fenêtre d'entrée à la surface du liquide;

permettre que le liquide soit présent dans le trajet de lumière du faisceau laser entre le solide et la surface de la pièce, et permettre que le faisceau entre dans le solide et appliquer, au travers du liquide, à la surface de pièce, le faisceau laser, de sorte que la trempe par choc de la surface de la pièce soit effectuée.

L'exigence d'unité de l'invention n'est donc pas observée, dans la mesure où il n'existe pas entre, les revendications dépendantes de la revendication 1 d'une part, et la revendication indépendante 2 d'autre part, de relation technique portant sur un ou plusieurs éléments techniques particuliers identiques ou correspondants:

Lle document D1 décrit::

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION  
FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande

FA 682578

FR 0651694

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

Un procédé de trempe par choc laser permettant d'effectuer le traitement de surface d'une pièce en contact avec un liquide par application, au travers du liquide, sur la surface de la pièce d'un faisceau laser pulsé qui est émis par intermittence en provenance d'un dispositif d'application de faisceau laser.

L'élément suivant apparaît donc comme l'élément technique particulier de la revendication 2:

le trajet de lumière, de la sortie laser du dispositif d'application de faisceau laser à la surface de la pièce, est rempli au moyen d'un liquide.

L'effet technique produit est de ne pas avoir à plonger la pièce entière dans un liquide, et donc le problème résolu par cet élément technique particulier peut être considéré comme étant de pouvoir travailler indépendamment de l'orientation et des dimensions de la pièce.

Cet effet technique et ce problème ne se retrouvent pas dans la revendication 1 et dans les revendications dépendantes de la revendication 1. En effet, selon ces revendications, la partie liquide du chemin optique est limitée par une fenêtre d'entrée.

L'analyse ci-dessus montre que ni les éléments techniques particuliers des groupes d'invention ni les problèmes objectifs à résoudre par ces inventions ne sont identiques ou correspondants, et qu'aucun concept inventif général ne lie entre eux les groupes d'inventions. La présente demande ne remplit donc pas les conditions d'unité d'invention.