



SPF Economie, PME, Classes
Moyennes & Energie
Office de la Propriété intellectuelle

(11) 1027475 B1

(47) Date de délivrance : 26/02/2021

(12) BREVET D'INVENTION BELGE

(47) Date de publication : 26/02/2021

(21) Numéro de demande : BE2020/5041

(22) Date de dépôt : 22/01/2020

(62) Divisé de la demande de base :

(62) Date de dépôt demande de base :

(51) Classification internationale : B23K 26/06, B23K 26/062, B23K 26/12, B23K 26/352, C21D 1/09, C21D 1/34, C21D 1/38, C21D 1/62, C21D 1/773, C21D 9/00, F27B 5/04, F27D 7/06

(30) Données de priorité :

(73) Titulaire(s) :

LASER ENGINEERING APPLICATIONS
SA
4031, ANGLEUR
Belgique

(72) Inventeur(s) :

KUPISIEWICZ Axel Stefan M
4122 NEUPRÉ
Belgique

RAMOS DE CAMPOS Jose Antonio
4031 ANGLEUR
Belgique

BRUNEEL David
4920 SOUGNÉ-REMOUCHAMPS
Belgique

HENROTTIN Anne
4990 LIERNEUX
Belgique

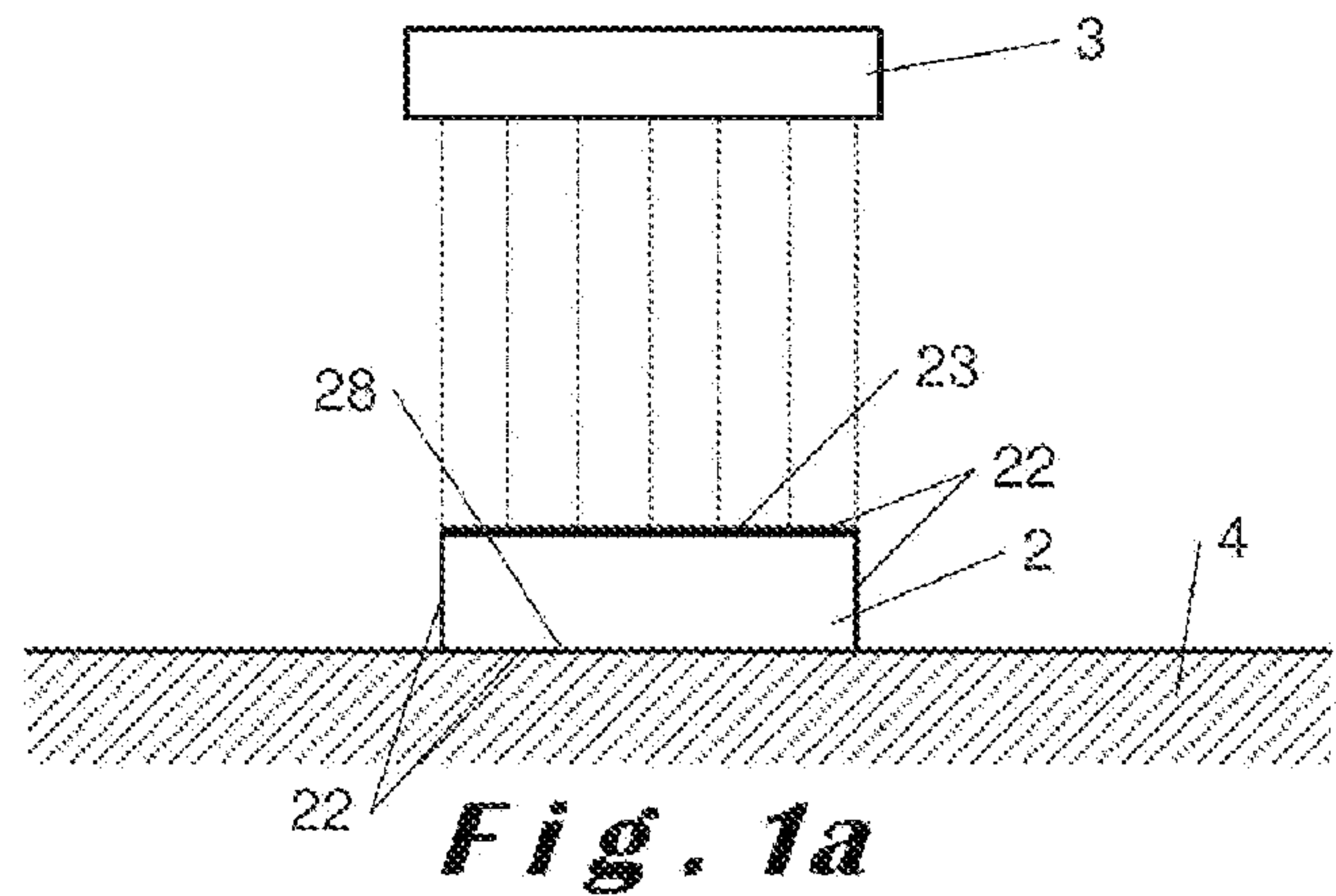
CANGUEIRO Liliana
3000 LEUVEN
Belgique

DECULTOT Marc
4000 LIÈGE
Belgique

MARTIN Paul-Etienne
33000 BORDEAUX
France

(54) Procédé de traitement thermique en volume et système associé

(57) Procédé de traitement thermique en volume d'une pièce (2) ayant une surface externe (22) délimitant son volume, le procédé comprenant les étapes suivantes : a. fournir une source laser (3) ; b. fournir la pièce (2) ; c. fournir des moyens de support (4) pour supporter la pièce (2) avec un degré d'isolation thermique entre eux et ladite pièce (2) ; d. placer ladite pièce (2) de sorte qu'elle soit maintenue en position par lesdits moyens de support (4) ; e. irradier avec ladite source laser (3) au moins une portion (23) de la surface externe (22) de ladite pièce (2) avec une puissance et une durée d'exposition laser pour obtenir une élévation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce (2).



Procédé de traitement thermique en volume et système associé

Domaine technique

[0001] Selon un premier aspect, l'invention se rapporte à un procédé de traitement thermique en volume. Selon un deuxième aspect, l'invention se rapporte à un système pour le traitement thermique en volume de pièces.

Etat de la technique

[0002] Le traitement thermique en volume (trempe, revenu, recuit) est une opération métallurgique qui est connue d'un homme du métier. Un traitement thermique en volume consiste à chauffer une pièce à une température de chauffe puis à la refroidir à une vitesse prédéfinie pour conserver, par exemple à température ambiante, la structure métallurgique de la pièce obtenue à la température de chauffe. Lors d'un traitement thermique en volume, essentiellement tout le volume de la pièce et de préférence tout le volume de la pièce subit un tel traitement thermique. Les propriétés mécaniques d'une pièce ayant subi un tel traitement thermique en volume sont en général bien supérieures pour une application spécifique à celles d'une pièce n'ayant pas subi de traitement thermique (par exemple lorsque le traitement thermique est une trempe, on parle en général de pièce durcie grâce à la trempe en volume). A titre d'exemple, il est souvent possible d'obtenir une résistance à la déformation sensiblement plus grande grâce au traitement thermique en volume. Pour des alliages d'aluminium, un traitement thermique de trempe en volume a pour effet de réduire la dureté mais d'améliorer les propriétés mécaniques.

[0003] Le traitement thermique en volume est en général réalisé en chauffant une pièce dans un four et en la maintenant suffisamment longtemps dans le four afin d'atteindre une température prédéterminée dans essentiellement toute la pièce (ou dans essentiellement tout son volume) et qui permet d'obtenir une modification de structure du matériau constituant la pièce ou un relâchement des contraintes présentes dans la pièce. Ensuite, cette dernière est généralement refroidie, par exemple rapidement en l'exposant à un fluide liquide ou gazeux, souvent en l'y plongeant. Les fluides sont par exemple de l'eau, de l'huile ou un gaz. Le refroidissement rapide est souvent nécessaire

afin de conserver à température ambiante, le matériau dans la structure induite par l'élévation de température.

Résumé de l'invention

- 5 **[0004]** Selon un premier aspect, un des buts de la présente invention est de proposer un procédé de traitement thermique en volume plus simple à mettre en œuvre et plus rapide à réaliser. A cet effet, les inventeurs proposent un procédé de traitement thermique en volume d'une pièce ayant une surface externe délimitant son volume,
- 10 le procédé comprenant les étapes suivantes :
- a. fournir une source laser ;
 - b. fournir la pièce ;
 - c. fournir des moyens de support pour supporter la pièce;
 - d. placer la pièce de sorte qu'elle soit maintenue en position par les moyens
 - 15 de support ;
 - e. irradier avec la source laser au moins une portion de la surface externe de la pièce avec une puissance et une durée d'exposition laser pour obtenir une élévation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce. Les moyens de support présentent un certain degré d'isolation thermique entre
 - 20 eux et la pièce. Cela est toujours vrai. Comme cela sera expliqué dans la suite, les inventeurs suggèrent d'avoir un tel degré d'isolation thermique assez important, de sorte que de la chaleur (ou énergie thermique) générée par la source laser au niveau de la portion de surface externe de la pièce qui est irradiée a plus tendance à diffuser dans le matériau constituant la pièce que dans les
 - 25 moyens de support.
- [0005]** Les inventeurs ont observé, contre toute attente, qu'il était possible d'appliquer un traitement thermique en volume à une pièce, pour la durcir par exemple, avec la seule utilisation d'une source laser. Le procédé de l'invention permet de réaliser des traitements thermiques sans déformation apparente de la
- 30 pièce. De préférence, ladite élévation de température est supérieure à 200 °C, de manière plus préférée supérieure à 400 °C, de manière encore plus préférée supérieure à 700 °C, et encore plus préférée supérieure à 850 °C.

[0006] Le procédé de l'invention est particulièrement efficace, car il permet grâce à la source laser de chauffer une pièce en volume sans pour autant échauffer son environnement extérieur. Ainsi, lorsque le refroidissement de la pièce est initié, il est nécessaire de dissiper uniquement la chaleur emmagasinée dans la pièce. En particulier, il n'est pas nécessaire d'évacuer une quantité de chaleur emmagasinée par les moyens de support de la pièce, ou par des parois d'un four. Grâce à l'utilisation de la source laser pour le chauffage de la pièce, il est possible de chauffer uniquement la pièce et de ne pas chauffer son environnement extérieur direct. Ceci est notamment possible grâce à la grande puissance radiative surfacique de la source laser par rapport à des techniques de chauffage classique par flamme directe, par tube radiant, ou par résistances électriques par exemple. Un avantage de l'invention par rapport à une technique de chauffage par induction est de permettre le traitement thermique de matériaux non-ferromagnétiques. Un tel avantage n'est pas réalisé au détriment de la facilité de contrôle des paramètres de traitement thermique ni au détriment de la géométrie des pièces que le procédé de l'invention permet de traiter thermiquement. La combinaison de la source laser pour le chauffage et des moyens de support avec un degré d'isolation thermique entre eux et la pièce permet de confiner dans la pièce la chaleur fournie par la source laser et d'atteindre des températures de modification de structure. Cette même combinaison d'une source laser et de moyens de support avec un degré d'isolation thermique entre eux et la pièce, permet dès l'extinction du faisceau laser issu de la source, d'initier un refroidissement suffisamment rapide pour figer le matériau constituant la pièce dans la structure obtenue lors de l'étape de chauffe (étape e.). Dès lors que la pièce ne reçoit plus d'énergie de la source laser, la chaleur dans la pièce est très rapidement évacuée vers l'environnement extérieur de la pièce, par exemple par rayonnement, convection, ou tout autre moyen d'échange de chaleur. Pour toutes ces raisons, le procédé selon l'invention peut être qualifié de plus efficace par rapport aux méthodes de traitement thermique en volume connues.

[0007] Lorsque le procédé de l'invention est mis en œuvre, la chaleur fournie à la pièce n'engendre que très peu d'échauffement de son environnement extérieur direct. Cela provient notamment des moyens de support qui présentent

un degré d'isolation thermique entre eux et la pièce, et du fait qu'il est possible de confiner un faisceau laser uniquement sur la pièce à chauffer ou sur une partie de celle-ci. L'absence d'échauffement important de l'environnement extérieur à la pièce lui permet d'absorber rapidement de la chaleur de la pièce dès lors que
5 l'énergie thermique fournie par la source laser n'a à chauffer que la pièce et non son environnement. Ainsi le procédé de l'invention, nécessitant de chauffer uniquement la pièce à traiter thermiquement permet un gain énergétique considérable tant pour la phase de montée en température que pour la phase de refroidissement. Le procédé de l'invention est donc particulièrement avantageux
10 en comparaison des procédés de l'état de la technique lorsqu'il est désiré de réduire la consommation énergétique liée au traitement thermique de pièces.

[0008] Lors de l'étape e. la puissance d'exposition du laser est de préférence choisie sensiblement égale aux pertes thermiques de la pièce à une température donnée. Ainsi, lorsqu'une température de traitement thermique est
15 atteinte, il est possible de maintenir la pièce à une température stable pendant plusieurs secondes, voire plusieurs minutes, et cela facilement car il suffit de choisir une puissance appropriée de la source laser. La puissance d'exposition laser pour maintenir la pièce à une température prédéterminée va directement dépendre de la température prédéterminée choisie. Un mode réalisation préféré
20 de l'invention prévoit, de réduire la puissance laser fournie lors de l'étape e. afin d'obtenir une stabilisation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce et un maintien à cette température pendant une durée prédéterminée à une température inférieure à la température atteinte lors de l'étape e. ; une telle température est typiquement celle d'un palier isotherme. Un
25 tel palier isotherme est connu de l'homme du métier et est destiné à adapter le traitement thermique en fonction des phases métallurgiques désirées à l'issue du traitement thermique et des matériaux traités. La méthode et le système de l'invention sont particulièrement avantageux pour mettre en œuvre un tel palier isotherme lors d'un traitement thermique ; en particulier, l'invention permet
30 d'avoir une transition rapide entre la température de traitement thermique initiale et la température de palier isotherme. De préférence, le palier isotherme a une durée de palier isotherme comprise entre 10 minutes et 5 heures, préférentiellement entre 30 minutes et 2 heures. Pour des pièces de petits

volumes telles que définies par un mode de réalisation préféré de l'invention, il pourrait être envisagé d'avoir un palier isotherme avec une durée inférieure à 10 minutes.

[0009] Dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce veut dire dans au moins 80% du volume de la pièce, de préférence dans au moins 90 % du volume de la pièce, de manière plus préférée dans au moins 95% du volume de la pièce et de manière encore plus préférée dans au moins 99% du volume de la pièce. La pièce ou échantillon a un certain volume qui peut être exprimé en mm^3 et une surface externe qui peut être exprimée en mm^2 . Il est néanmoins possible d'utiliser d'autres unités pour le volume et la surface externe.

[0010] De manière non limitative, le procédé de traitement thermique de l'invention peut être utilisé pour les applications suivantes:

- des pièces médicales, en particulier des implants médicaux, par exemple, des implants dentaires, des prothèse articulaires,...;
- des pièces de mécanique de précision, ou de mécanismes de précision ;
- des pièces sécuritaires ;
- des pièces comprenant un matériau à mémoire de forme.

[0011] Un autre avantage de la méthode selon l'invention est qu'elle est très facile à mettre en œuvre, ne nécessitant que des moyens de contrôle relativement simples. En effet, la programmation du traitement thermique selon l'invention requiert dans la plupart des cas, un contrôle de la puissance électrique fournie à la source laser en fonction du temps par les moyens de contrôle. Les moyens de contrôle permettent ainsi d'adapter la puissance de la source laser en fonction des caractéristiques physiques et géométriques de la pièce à traiter thermiquement et en fonction du traitement thermique souhaité (pente, palier,...). Ainsi les moyens de contrôle définissent une puissance laser à délivrer en fonction du temps afin de traiter thermiquement la pièce selon les pentes et paliers correspondant au traitement thermique programmé par l'opérateur. Il est ainsi possible, grâce à la méthode de l'invention, avec un même système de traitement thermique, de réaliser des traitements thermiques pour un grand nombre de matériaux différents, pour des pièces de géométrie différentes et sur des plages de température étendues. Les moyens de contrôle sont donc

extrêmement simples et la puissance à délivrer au laser est faible comparée aux puissances à délivrer pour d'autres types de moyen de chauffage électrique.

[0012] De préférence, le procédé comprenant en outre, après l'étape e., l'étape suivante :

- 5 f. stopper l'irradiation de l'étape e. pour refroidir la pièce.

[0013] Dans ce mode de réalisation préféré, une étape est ajoutée pour permettre le refroidissement de la pièce après son échauffement par la source laser. Par rapport aux traitements thermiques connus où il y a aussi une phase de refroidissement, ce mode de réalisation préféré est plus simple. En effet, ce
10 procédé ne nécessite pas de déplacement ni de manipulation de l'échantillon (ou pièce) entre l'étape d'élévation en température et l'étape de refroidissement. En particulier, l'étape f. de refroidissement ne nécessite pas de plonger la pièce dans un liquide. Pour cette raison aussi le procédé selon l'invention est plus simple. L'absence de ces manipulations permet par ailleurs d'obtenir un procédé de
15 traitement thermique en volume avec une phase de refroidissement plus rapide. Les vitesses de refroidissement connues de l'état de la technique varient entre 10 et 100 °C/s. La méthode et le système de l'invention permettent d'atteindre lors de l'étape f. des vitesses de refroidissement supérieures à 100°C/s, de préférence supérieures à 150°C/s.

20 **[0014]** Un procédé de traitement thermique est la trempe en volume qui consiste à chauffer une pièce à une température de chauffe puis à la refroidir à une vitesse suffisamment importante pour conserver, par exemple à température ambiante, la structure métallurgique de la pièce obtenue à la température de chauffe. Lors d'une trempe en volume, essentiellement tout le volume de la pièce
25 et de préférence tout le volume de la pièce subit un tel traitement thermique. Les propriétés mécaniques d'une pièce ayant subi un tel procédé de trempe en volume sont en général bien supérieures à celles d'une pièce non trempée (on parle en général de pièce durcie grâce à la trempe en volume, mais si pour certains matériaux comme par exemple des alliages d'aluminium l'opération de
30 trempe peut avoir pour effet de réduire la dureté mais d'améliorer néanmoins ses propriétés mécaniques). A titre d'exemples, il est souvent possible d'obtenir une résistance à la déformation et/ou une résistance à l'usure sensiblement plus grande grâce à la trempe en volume.

[0015] La trempe en volume est en général réalisée en chauffant la pièce dans un four et en la maintenant suffisamment longtemps afin d'atteindre une température prédéterminée dans essentiellement toute la pièce (ou dans essentiellement tout son volume), ce qui permet d'obtenir une modification de structure du matériau constituant la pièce. Ensuite, cette dernière est refroidie rapidement en l'exposant à un fluide liquide ou gazeux, souvent en l'y plongeant. Les fluides sont par exemple de l'eau, de l'huile ou un gaz. Le refroidissement rapide permet de figer le matériau dans la structure induite par l'élévation de température.

[0016] De préférence, un des buts de la présente invention est de proposer un procédé de trempe en volume plus simple à mettre en œuvre et plus rapide à réaliser. La trempe est un terme connu d'un homme du métier. Préférentiellement, le procédé de l'invention est un procédé de trempe en volume de la pièce,

l'étape e. permet d'induire une modification de structure du matériau constituant la pièce, et,

l'étape f. est apte à figer le matériau constituant la pièce dans une structure différente de celle qu'il présentait avant l'irradiation de l'étape e.

Par exemple, la modification de la structure du matériau constituant la pièce est un changement de phase, ou alors un changement de structure métallurgique. Cela est connu d'un homme du métier. Un changement de phase est une transformation allotropique. Par exemple, un changement de phase peut se produire lorsque pour un diagramme de phase du matériau constituant la pièce, une ligne de changement de phase est franchie lors de l'élévation en température de la pièce induite par l'irradiation par la source laser. De préférence, lors de la trempe, on fige le matériau dans la structure obtenue à l'étape e. Pour cela, le refroidissement à l'étape f. doit être en général assez rapide, même si cela va dépendre du type de matériau.

[0017] Le procédé de trempe en volume proposé par les inventeurs est tout à fait surprenant. Ils ont observé, contre toute attente, qu'il était possible d'appliquer une trempe en volume à une pièce pour la durcir avec la seule utilisation d'une source laser. Le procédé de l'invention permet de réaliser la trempe sans déformation apparente de la pièce. Les inventeurs ont trouvé que

l'absence de déformation apparente de la pièce est dû au fait que le procédé de trempe permet de traiter tout le volume de la pièce en un temps très court.

[0018] Le procédé de l'invention permet la trempe en volume d'une pièce de façon simple car la méthode ne nécessite pas de déplacement ni de manipulation de l'échantillon entre l'étape d'élévation en température et l'étape de refroidissement. L'étape f. de refroidissement figeant le matériau constituant la pièce dans une nouvelle structure, par exemple celle obtenue lors de la chauffe (étape e.) ne nécessite pas de plonger la pièce dans un liquide. Pour cette raison aussi le procédé selon l'invention est plus simple. L'absence de ces manipulations permet par ailleurs d'obtenir un procédé de trempe en volume plus rapide.

[0019] Le procédé de l'invention est particulièrement efficace, car il permet grâce à la source laser de chauffer de façon efficace la pièce sans pour autant échauffer l'environnement extérieur à la pièce. Ainsi, lorsque l'étape f. est initiée de sorte à avoir un refroidissement rapide de toute la pièce, il est alors nécessaire de dissiper uniquement la chaleur emmagasinée dans la pièce. En particulier, il n'est pas nécessaire d'évacuer une quantité de chaleur emmagasinée par les moyens de support de la pièce, ou par des parois d'un four, ou encore par l'environnement gazeux entourant la pièce. Grâce à l'utilisation de la source laser pour le chauffage de la pièce, il est possible de chauffer uniquement la pièce et de ne pas chauffer son environnement extérieur direct. Ceci est notamment possible grâce à la grande puissance radiative surfacique de la source laser par rapport à des techniques de chauffage classique par flamme directe, par tube radiant, par résistances électriques ou bien par induction. La combinaison de la source laser pour le chauffage et des moyens de support avec un degré d'isolation thermique entre eux et la pièce permet de confiner dans la pièce la chaleur fournie par la source laser et d'atteindre des températures de modification de structure. Cette même combinaison d'une source laser et de moyens de support avec un degré d'isolation thermique entre eux et la pièce, permet dès l'extinction du faisceau laser issu de la source, d'initier un refroidissement suffisamment rapide pour figer le matériau constituant la pièce dans une nouvelle structure, par exemple celle obtenue lors de l'étape de chauffe (étape e.). Dès lors que la pièce ne reçoit plus d'énergie de la source laser, la

chaleur dans la pièce est très rapidement évacuée vers l'environnement extérieur de la pièce, par exemple par rayonnement, convection, ou tout autre moyen d'échange de chaleur. Pour toutes ces raisons, le procédé selon l'invention peut être qualifié de plus efficace par rapport aux méthodes de trempe en volume
5 connues.

[0020] Lorsque le procédé de trempe en volume de l'invention est mis en œuvre, la chaleur fournie à la pièce n'engendre que très peu d'échauffement de son environnement extérieur direct. Cela provient notamment des moyens de support qui présentent un degré d'isolation thermique entre eux et la pièce, et du
10 fait qu'il est possible de confiner un faisceau laser uniquement sur la pièce à chauffer ou sur une partie de celle-ci. L'absence d'échauffement important de l'environnement extérieur à la pièce lui permet ensuite de dissiper rapidement de la chaleur de la pièce lors de l'étape de refroidissement, l'étape f, ce qui est important pour avoir un procédé de trempe efficace où le matériau constituant la
15 pièce est figé dans une structure donnée.

[0021] Par exemple la pièce est en acier, la température de trempe d'une pièce en acier est très souvent comprise entre 700°C et 950°C. Par exemple, pour une pièce en aluminium, la température de trempe est très souvent comprise entre 440°C et 535°C. Par exemple, pour une pièce en titane, la
20 température de trempe est comprise entre 300°C et 600°C.

[0022] Dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce veut dire dans au moins 80% du volume de la pièce, de préférence dans au moins 90 % du volume de la pièce, de manière plus préférée dans au moins 95% du volume de la pièce et de manière encore plus préférée dans au moins 99% du volume de la pièce. Par exemple, la pièce comprend un matériau ayant une conductivité
25 thermique supérieure à $15 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de sorte que la pièce peut de préférence être affectée par le traitement thermique de l'invention dans 100 % de son volume.

[0023] De préférence, l'irradiation de l'étape e. est apte à imposer une
30 température essentiellement homogène dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce. Les inventeurs ont en effet constaté, avec surprise, qu'il était possible de choisir des puissance et durée d'exposition laser telles à l'étape e. permettant d'obtenir une température essentiellement homogène dans

l'ensemble du volume d'une pièce, à l'aide d'une irradiation laser. Cela permet in fine d'avoir un procédé de trempe en volume efficace et de bonne qualité car les différentes régions du volume de la pièce subissent essentiellement la même augmentation de température à l'étape e.

- 5 Une température essentiellement homogène veut dire que la différence relative maximale de température entre deux points du volume de la pièce est au maximum égale à 20%, de préférence au maximum égale à 10%, et de manière encore plus préférée au maximum égale à 1%.

10 Ainsi, pour ce mode de réalisation, selon une section (transversale ou longitudinale) de la pièce, celle-ci est irradiée lors de l'étape e. jusqu'à obtenir un profil de température essentiellement plat ou homogène entre la surface externe et le cœur de la pièce. Une section longitudinale ou transversale veut dire ici une coupe faite parallèlement à la direction du faisceau laser issu de la source laser.

[0024] De préférence, la source laser est configurée pour émettre un
15 faisceau lumineux collimaté, et irradier lors de l'étape e. ladite au moins une portion de la surface externe de la pièce avec le faisceau lumineux collimaté.

L'utilisation d'un faisceau laser collimaté pour l'irradiation de la pièce permet de ne pas avoir de réglage à faire par rapport à une distance relative à la focalisation ou à la divergence du faisceau. Par ailleurs, le faisceau laser collimaté permet
20 l'irradiation d'une pièce lors de l'étape e. quelle que soit le profil de la surface externe de la pièce (profil avec plusieurs hauteurs). Ainsi, le faisceau laser collimaté permet d'irradier une portion de la surface externe de la pièce ayant un profil non-plan de manière plus homogène car le faisceau laser collimaté permet d'irradier simultanément avec une densité de puissance la plus homogène
25 possible, des portions de pièces ayant des hauteurs différentes. L'utilisation d'un faisceau laser collimaté permet donc d'avoir un traitement thermique adaptable à des pièces ayant des géométries de surface plus complexes en comparaison d'un traitement thermique avec faisceau laser focalisé. Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le faisceau laser est homogénéisé puis focalisé en
30 direction de la pièce.

[0025] De préférence, l'étape f. comprend en outre une action de diriger un fluide en direction de la pièce pour la refroidir par convection. Une telle action

est facultative mais permet d'accélérer le refroidissement de la pièce par transfert de chaleur par convection notamment. Le fluide peut être un gaz ou un liquide.

[0026] De préférence, le procédé comprend en outre une action d'exposer la pièce à un gaz de traitement pour modifier sa surface externe. Par exemple le gaz est de l'azote, de sorte que lors du traitement thermique, une nitruration de la surface externe de la pièce se produise.

[0027] De préférence, les moyens de support présentent une surface de support plane pour supporter la pièce. Cela permet d'augmenter la stabilité mécanique de la pièce, en minimisant les contraintes à haute température de la pièce afin d'éviter que le matériau ne flue, lorsque cette dernière a au moins une portion de surface externe plane.

[0028] De préférence, les moyens de support comprennent un matériau réfractaire. Les inventeurs ont observé que le procédé de l'invention, et en particulier le mode de réalisation préféré correspondant à un procédé de trempe en volume est d'autant plus efficace que les moyens de support présentent un grand degré d'isolation thermique entre eux et la pièce. Cela permet de minimiser tout transfert de chaleur de la pièce vers les moyens de support, lors de l'étape e. et in fine d'avoir une élévation de température présentant une grande homogénéité dans le volume de la pièce car la chaleur a plus tendance à diffuser au sein même de la pièce plutôt qu'à l'extérieur. Dans ce cadre, les inventeurs proposent d'utiliser de préférence des moyens de support en matériau isolant thermiquement et plus préférentiellement en matériau réfractaire, terme connu d'un homme du métier. Le terme réfractaire est connu d'un homme du métier.

[0029] De préférence, les moyens de support comprennent un matériau ayant une conductivité thermique inférieure à $20 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, plus préférentiellement inférieure à $10 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de manière encore plus préférée inférieure à $5 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. Une unité équivalente au $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ est le $\text{W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. La conductivité thermique est un terme connu d'un homme du métier. Les valeurs préférées de conductivité thermique sont données pour une température de 25°C . Grâce à cette variante préférée, il est possible d'avoir une relativement grande conductivité thermique de la pièce à tremper en comparaison avec la conductivité thermique des moyens de support, pour une large gamme de matériaux possibles de la pièce, en particulier pour une large gamme de métaux.

Cela permet d'avoir une grande homogénéité de l'élévation de température dans tout le volume de la pièce tout en chauffant les moyens de support le moins possible. A noter qu'il est possible d'envisager des moyens de support ayant une conductivité thermique inférieure à $20 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de préférence inférieure à $10 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de manière encore plus préférée inférieure à $5 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, sans nécessairement utiliser un matériau réfractaire pour eux. Cela constitue un autre mode de réalisation préféré du procédé de l'invention.

[0030] De préférence, il existe une surface de contact entre la pièce et les moyens de support, la surface de contact ayant une aire inférieure à 10 % de l'aire de la surface externe, de manière plus préférée, celle-ci est inférieure à 2 %, de manière encore plus préférée celle-ci est inférieure à 1 %. Pour une même conductivité thermique des moyens de support, un échange de chaleur entre la pièce et les moyens de support sera plus faible lorsque la surface de contact entre pièce et moyens de support est plus petite.

[0031] Préférentiellement, le procédé de traitement thermique de l'invention est particulièrement bien adapté à des moyens de support présentant une conductivité thermique faible et une surface de contact entre pièce et moyens de support réduite. Ainsi, il est particulièrement recherché d'avoir un produit (conductivité thermique des moyens de support) x (surface de contact entre pièce et moyens de support) le plus petit possible.

[0032] De préférence, la pièce est constituée d'un matériau ayant une conductivité thermique supérieure à $10 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de manière plus préférée celle-ci est supérieure à $35 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ et de manière encore plus préférée celle-ci est supérieure à $50 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. Comme cela a déjà été suggéré ci-dessus, les inventeurs ont observé que le procédé de l'invention et en particulier le mode de réalisation préféré correspondant à un procédé de trempe en volume est d'autant plus efficace quand le transfert de chaleur générée au niveau de la surface externe de la pièce se fait avant tout au sein même du volume de la pièce, plutôt que vers l'extérieur, comme par exemple vers les moyens de support. Cela permet in fine d'avoir une élévation de température présentant une grande homogénéité dans le volume de la pièce car la chaleur a plus tendance à diffuser au sein même de la pièce plutôt qu'à l'extérieur. Dans ce cadre, les inventeurs

proposent d'utiliser de préférence une pièce constituée d'un matériau ayant une conductivité thermique suffisamment élevée.

[0033] De préférence, le volume de la pièce est compris entre $0,01 \text{ mm}^3$ et 5 cm^3 , de manière plus préférée celui-ci est compris entre $0,1 \text{ mm}^3$ et 500 mm^3 ,
5 et de manière encore plus préférée entre 1 mm^3 et 100 mm^3 . Les inventeurs ont remarqué de manière surprenante que des pièces de petit volume, c'est-à-dire inférieur au cm^3 (et donc présentant également une masse assez petite), permettent d'avoir un procédé selon l'invention particulièrement efficace. Cela est également vrai pour le mode de réalisation préféré correspondant à un
10 procédé de trempe en volume. Cela est tout à fait surprenant. Une explication plausible serait la suivante. Lorsque la pièce à traiter thermiquement (à tremper) présente un petit volume, c'est-à-dire inférieur au cm^3 par exemple, il y a peu de matière permettant d'évacuer la chaleur générée à la surface externe et donc l'entière du volume de la pièce a tendance à se réchauffer très rapidement.
15 Ainsi, la masse d'une pièce présentant un petit volume n'est pas suffisante pour produire un gradient thermique élevé dans la pièce suite à l'élévation de température à sa surface externe. Le processus est donc différent d'une trempe en surface où le volume de la pièce permet d'absorber un échauffement en surface sans pour autant s'échauffer de manière homogène et atteindre une
20 température proche de celle de la surface irradiée. Par exemple, le volume de la pièce est inférieur à 5 cm^3 pour une pièce en aluminium ou en laiton. Par exemple, le volume de la pièce est inférieur à 2 cm^3 pour une pièce en acier ou en titane. Des exemples de masse de petites pièces pour le procédé de l'invention sont comprises entre 1 et 100 grammes, de préférence entre 10 et 50
25 grammes et de manière encore préférée entre 15 et 30 grammes. Il est également possible de prévoir des pièces ont une masse inférieure à 1 gramme, par exemple des pièces ayant une masse comprise entre 0.005 et 0.1 gramme.

[0034] De préférence, la pièce présente une surface spécifique comprise entre $0,01 \text{ mm}^{-1}$ et 150 mm^{-1} , de manière plus préférée comprise entre $0,1 \text{ mm}^{-1}$
30 et 100 mm^{-1} , de manière encore plus préférée comprise entre 1 mm^{-1} et 10 mm^{-1} . La surface spécifique d'une pièce est égale à l'aire de sa surface externe divisée par le volume de la pièce. Pour obtenir une quasi-absence (absence) de gradient de structure métallurgique dans la pièce traitée thermiquement et donc

une homogénéité en volume de la structure métallurgique de la pièce, par exemple lors de l'étape f. pour les modes de réalisation préférés comprenant une telle étape, il est préféré d'avoir des pièces peu compactes, présentant une surface spécifique au moins 10 fois plus grande que celle d'une sphère ayant le même volume. Cela permet de refroidir la pièce, par exemple à l'étape f. pour les modes de réalisation préférés comprenant une telle étape, plus facilement et plus rapidement. De telles contraintes et donc un tel mode de réalisation préféré est particulièrement avantageux lorsque le procédé de traitement en volume de l'invention correspond à un procédé de trempe en volume.

10 **[0035]** De préférence,

- ladite surface externe consiste en une première et une deuxième portions de surface externe, et
 - l'étape e. consiste à irradier uniquement la première portion de surface externe avec une puissance et une durée d'exposition laser pour avoir une
- 15 température sensiblement égale entre les première et deuxième portions de surface externe.

Une température sensiblement égale entre les première et deuxième portions de surface externe de la pièce veut dire qu'elles présentent une différence de température inférieure à 50°C, de préférence inférieure à 25°C, de préférence

20 inférieure à 10°C, de préférence inférieure à 5°C, et de manière encore plus préférée inférieure à 2 °C.

Ce mode de réalisation préféré permet d'avoir un procédé particulièrement facile à mettre en œuvre car il nécessite d'irradier uniquement une portion de la surface externe de la pièce. En particulier, on peut imaginer irradier la pièce que

25 d'un seul côté.

[0036] De préférence,

- la surface externe comprend une première et une deuxième portions de surface externe, et
 - l'étape e. consiste à irradier les première et deuxième portions de surface
- 30 externe.

Selon cet autre mode de réalisation possible, les inventeurs proposent d'irradier au moins deux portions différentes de surface externe de la pièce. On peut par exemple irradier la pièce à partir de deux de ses faces qui sont par exemple

opposées : par exemple irradier un côté droit et un côté gauche de la pièce. Cela permet d'induire une élévation de température à partir de deux extrémités différentes de la pièce, ce qui peut être particulièrement utile pour des pièces plus épaisses.

5 **[0037]** De préférence, l'étape e. consiste à irradier au moins une portion de la surface externe de la pièce pendant une durée d'exposition inférieure ou égale à 10 s, de manière plus préférée inférieure ou égale à 8 s, de manière encore plus préférée inférieure ou égale à 5 s. Les inventeurs ont trouvé que l'on obtient des résultats particulièrement bons en utilisant de telles durées
10 d'exposition laser. En particulier de telles durées d'exposition permettent d'avoir une élévation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce irradiée et dans de nombreux cas, d'avoir une élévation de température homogène dans tout le volume de la pièce.

15 **[0038]** De préférence, la source laser est une source laser continue ou à impulsions de durées supérieures à 1 ms ou à impulsions de durées comprises entre 20 et 30 ms. Les inventeurs ont trouvé qu'il est possible d'avoir de très bons résultats en utilisant des sources lasers continues qui sont peu chères. De bons résultats sont également obtenus avec des sources lasers à impulsions relativement longues, c'est-à-dire supérieures à 1 ms. Les sources lasers
20 continues ou avec de telles durées d'impulsions sont peu chères, mais également très courantes et faciles à mettre en œuvre dans le cadre du procédé de l'invention. De telles sources laser sont disponibles avec un large choix de longueurs d'onde. Cela peut être utile afin d'avoir une longueur d'onde adaptée au matériau constituant la pièce et maximiser ainsi l'absorption du rayonnement par la pièce et sa conversion en chaleur pour l'élévation de la température de
25 celle-ci. Selon un mode de réalisation préféré, il est possible d'adapter la polarisation du rayonnement afin de maximiser l'absorption du rayonnement par la pièce. Par exemple la polarisation du faisceau laser sur la pièce peut être linéaire s ou p, elliptique ou circulaire. Lors du traitement thermique de pièces
30 présentant des surfaces externes courbes ou ayant des pentes différentes, les coefficients de réflexion peuvent changer en fonction de l'angle d'incidence du faisceau laser (angle entre la direction de propagation du faisceau laser et la normale à la surface au point d'irradiation). Afin de maximiser l'absorption du

faisceau laser par la pièce à traiter thermiquement, de préférence lorsque le faisceau laser présente un angle d'incidence avec une portion de la pièce supérieur à 10° , il peut être intéressant de modifier la polarisation du faisceau laser en une polarisation linéaire, de préférence une polarisation p de sorte à obtenir une meilleure absorption par la pièce sur toute sa surface irradiée. Dans le cas de pièces courbes ou présentant des pentes différentes, l'utilisation d'une polarisation linéaire spécifique (de préférence p) peut conduire à une meilleure homogénéité d'absorption du faisceau laser par la portion irradiée de la surface externe.

10 **[0039]** De préférence, l'étape e. consiste à irradier au moins une portion de la surface externe de la pièce avec un faisceau laser d'une puissance inférieure à 100 W, de manière plus préférée inférieure à 50 W, de manière encore plus préférée inférieure à 10 W. Les inventeurs ont trouvé qu'il était possible d'avoir de très bons résultats, et en particulier de très bon résultats de trempe lorsque le procédé de l'invention est un procédé de trempe en volume, même avec des sources laser peu puissantes. Ainsi, pour certaines pièces, il est possible d'avoir des élévations de température de 1400 K avec des sources laser continues ayant une puissance inférieure à 10W ou 6W par exemple. Dans un tel cas, les inventeurs ont observé qu'un refroidissement naturel de la pièce à température ambiante (environ 20°C), c'est-à-dire sans refroidissement forcé
20 comme par exemple par convection, prenait moins de 35 s.

[0040] De préférence, la source laser est apte à fournir un faisceau laser modulé en intensité et l'étape e. consiste à irradier au moins une portion de la surface externe de la pièce avec une puissance d'irradiation qui diminue dans le temps pendant l'étape e. Grâce à ce mode de réalisation préféré, il est possible de réduire le risque, voire d'éviter une surchauffe trop importante d'une partie de la pièce, en particulier une surchauffe trop importante de la portion de surface externe irradiée par la source laser. Une surchauffe trop importante est en général inacceptable et induit une fusion locale ou totale de la pièce. Grâce à ce
25 mode de réalisation préféré de l'invention, on réduit ce risque car on diminue l'intensité du faisceau laser au cours de l'étape de chauffe e.

30 **[0041]** De préférence, la source laser comprend :

- un générateur de faisceau laser,

des moyens de contrôle de faisceau configurés pour moduler le profil en intensité du faisceau laser émis par le générateur de faisceau laser.

[0042] Dans ce mode de réalisation préféré, le générateur de faisceau laser est couplé optiquement avec les moyens de contrôle de faisceau laser. De préférence les moyens de contrôle de faisceau laser sont des moyens de modelage de faisceau laser. Les moyens de contrôle de faisceau laser permettent de modeler le profil en intensité du faisceau laser qui est déterminé selon un plan perpendiculaire à sa direction de propagation. Les moyens de contrôle de faisceau permettent d'obtenir un faisceau ayant une distribution en intensité plus uniforme et permettent donc d'irradier une pièce avec plus d'homogénéité en terme de densité de puissance.

[0043] De préférence, les moyens de contrôle de faisceau comprennent :

- une fibre optique comprenant une entrée et une sortie, apte à véhiculer un faisceau laser émis par le générateur de faisceau laser entre l'entrée et la sortie, de manière plus préférée, la fibre optique est multimode ;
- un dispositif de projection de faisceau laser configuré pour projeter sur la pièce, une image du faisceau laser à sa sortie de la fibre optique.

[0044] Dans ce mode de réalisation préféré, le générateur de faisceau laser est couplé optiquement avec l'entrée de la fibre optique multimode de sorte qu'essentiellement l'intégralité du faisceau laser est véhiculé par la fibre optique multimode jusqu'à sa sortie. Lorsque le générateur de faisceau laser est un générateur de faisceau laser multimode, le faisceau laser multimode véhiculé par la fibre optique multimode est mélangé lors de son parcours dans la fibre optique multimode, de sorte à illuminer la face de sortie (la sortie) de la fibre avec une intensité de faisceau laser homogène. De préférence, un meilleur mélange des modes et donc une meilleure homogénéité d'intensité de faisceau sur la face de sortie est obtenue lorsque la fibre optique multimode est courbée. Par exemple la fibre optique multimode est courbée en formant un « 8 ». Préférentiellement, la fibre optique multimode a une longueur supérieure à 2 m, et plus préférentiellement une longueur comprise entre 6 m et 10 m, par exemple 8 m afin de permettre un bon mélange des modes et donc une bonne uniformité de profil d'intensité en sortie de la fibre optique multimode.

[0045] Le dispositif de projection de faisceau laser permet de projeter l'image de la sortie (de la face de sortie) de la fibre optique multimode sur la pièce à traiter thermiquement. Ce mode de réalisation de source laser permet de modifier le profil d'intensité du faisceau laser, de sorte qu'en entrée de la fibre

5 optique multimode, le faisceau laser (multimode) a un profil d'intensité essentiellement gaussien tel qu'émis par le générateur de faisceau laser, et, qu'en sortie, le faisceau laser a un profil d'intensité uniforme sur essentiellement toute la face de sortie qu'il illumine. Le dispositif de projection de faisceau laser permet alors de former une image de la face de sortie de la fibre optique

10 multimode illuminée avec une intensité uniforme, sur la pièce à traiter thermiquement.

[0046] De préférence, le dispositif de projection de faisceau laser est configuré pour projeter l'image du faisceau laser sur la pièce avec un faisceau laser collimaté.

15 **[0047]** Un autre avantage de ce mode de réalisation de la source laser est de permettre d'irradier la pièce avec un faisceau laser collimaté. Ceci est d'autant plus avantageux, (comme déjà décrit précédemment) que cela permet une simplification de la méthode en ne nécessitant pas une étape supplémentaire de réglage de la distance de la pièce par rapport à la source laser. Par ailleurs, un

20 tel faisceau laser collimaté d'intensité uniforme permet d'irradier avec plus d'homogénéité en terme de densité de puissance des pièces ayant des géométries complexes caractérisées par des facteurs de forme élevés, ou ayant des surfaces courbes.

[0048] De préférence, le dispositif de projection de faisceau laser est apte

25 à ajuster un grandissement entre la section prédéterminée de fibre optique multimode prise à la sortie et l'image du faisceau laser lorsque celle-ci est projetée sur la pièce.

[0049] Dans ce mode de réalisation préféré, le dispositif de projection de faisceau laser comprend de préférence une première et une deuxième lentilles

30 convergentes, de sorte à projeter le faisceau laser en sortie de la fibre optique multimode (qui est alors divergent) en une image de faisceau laser sur la pièce à traiter thermiquement avec un faisceau laser qui est collimaté. Préférentiellement, les première et deuxième lentilles sont déplaçables

relativement l'une par rapport à l'autre selon une translation parallèle à un axe optique définit par une direction de propagation principale du faisceau laser en sortie de la fibre optique multimode. De préférence, la première lentille est déplaçable par rapport à la sortie de la fibre optique multimode afin d'ajuster la distance première lentille – sortie de fibre optique multimode. De préférence, une augmentation de la distance entre les première et deuxième lentilles permet une augmentation du grandissement. Ainsi le dispositif de projection de faisceau laser permet d'adapter la taille du faisceau laser sur la pièce à traiter thermiquement en fonction de la taille de celle-ci. Par exemple la fibre optique multimode a une section de 400 μm et l'image du faisceau laser en sortie de celle-ci projetée sur la pièce a un diamètre de 6 mm. Grâce à ce mode de réalisation préféré de la source laser de l'invention il est possible d'obtenir une irradiation de la pièce avec une intensité de laser uniforme et réglable en dimension. L'intensité de faisceau uniforme sur la pièce permet de réaliser un traitement thermique avec une grande qualité car l'augmentation de température de la pièce est alors engendrée avec un gradient thermique au niveau de la surface de la pièce qui est quasi-nul voir nul. Alors qu'un échauffement par une source laser de l'état de la technique introduit inévitablement un gradient thermique à la surface de la pièce vu le profil d'intensité gaussien de telles sources laser. Un autre avantage du dispositif de projection de faisceau laser est de permettre une modulation du diamètre de l'image du faisceau laser en sortie de celle-ci sur la pièce sans altération de son uniformité en intensité.

[0050] De préférence, les moyens de contrôle de faisceau comprennent : une lentille ménisque configurée pour modifier le diamètre du faisceau laser émis par le générateur de faisceau laser en un faisceau laser modifié collimaté. Préférentiellement, les moyens de contrôle de faisceau comprennent une pluralité de lentilles ménisques alignées selon leurs axes optiques respectifs. Par exemple, au moins une face de chacune des lentilles ménisques est asphérique de sorte à limiter les aberrations dues à l'utilisation de lentilles ménisques.

[0051] De préférence, les moyens de contrôle de faisceau comprennent : un élément optique ayant une surface optique asphérique ou une surface optique apte à induire un décalage de phase.

[0052] De préférence, les moyens de contrôle de faisceau comprennent :

- un élément optique de diffraction.

[0053] De préférence, la source laser comprend en outre des moyens de focalisation de faisceau positionnés entre les moyens de contrôle de faisceau et la pièce.

- 5 **[0054]** De préférence, le procédé de l'invention est un procédé de trempe suivi d'un revenu et il comprend en outre les étapes additionnelles suivantes, après l'étape f. :

- i. irradier avec la source laser au moins une portion de la surface externe de la pièce avec une puissance d'exposition laser de revenu qui est moindre que
10 la puissance d'exposition laser utilisée lors de l'étape e. pour la trempe.

Le revenu de la pièce est réalisé par le maintien de la pièce à une température de revenu (inférieure à la température de trempe) pendant une durée prédéterminée. La pièce est ensuite soumise à un refroidissement approprié jusqu'à température ambiante. Le revenu permet d'atténuer les effets de la
15 trempe en rendant le plus souvent, la pièce plus ductile et plus tenace. Un tel revenu peut être avantageusement réalisé après la trempe sans modifier la position de la pièce, ce qui simplifie grandement la mise en œuvre du procédé et du système permettant de mettre en œuvre une telle étape de revenu. De préférence, une température de revenu pour une pièce en acier est comprise
20 entre 200 °C et 450 °C. Préférentiellement, la température de revenu d'une pièce en aluminium est comprise entre 150°C et 200°C, par exemple 170°C.

[0055] De préférence, le procédé de l'invention est un procédé de trempe précédé d'un recuit et il comprend en outre les étapes additionnelles suivantes avant l'étape a. :

- g. irradier avec la source laser au moins une portion de la surface externe de la pièce avec une puissance d'exposition de laser de recuit qui est moindre que la puissance d'exposition laser utilisée lors de l'étape e. ;
h. refroidir la pièce après l'avoir chauffée à une température de recuit lors de l'étape précédente à une température inférieure à 100 °C, de préférence à
30 température ambiante.

Le recuit consiste à chauffer la pièce à une température prédéterminée (dite température de recuit), de maintenir la pièce à cette température de recuit pendant un temps prédéterminé, puis à refroidir la pièce avec une vitesse de

refroidissement prédéterminée afin d'obtenir après retour à température ambiante un état structurel du matériau constituant la pièce proche de l'état d'équilibre stable. Cette opération a pour but d'éliminer ou réduire les contraintes résiduelles liées par exemple à un traitement thermique antérieur, ou, d'obtenir la formation d'une structure favorable à une action ultérieure sans fracturation (déformation, usinage, traitement thermique...). Un tel recuit peut être avantageusement réalisé avant la trempe sans modifier la position de la pièce sur les moyens de support, ce qui simplifie grandement la mise en œuvre du procédé et du système permettant de mettre en œuvre une telle étape de recuit.

10 Avec le procédé de l'invention, il est possible de prévoir les trois phases de traitement thermique suivantes avec un même dispositif, sans avoir à modifier la position de la pièce (et éventuellement en un temps très court) : recuit, puis trempe, puis revenu. Dans un tel cas, il y a une première phase de chauffe à une température T_{recuit} , maintien à T_{recuit} pendant un temps prédéterminé, suivie d'un refroidissement contrôlé, puis une deuxième phase de chauffe à une température T_{trempe} , maintien à T_{trempe} pendant un temps prédéterminé, suivie d'un refroidissement contrôlé, T_{trempe} étant supérieure à T_{recuit} , puis une troisième phase de chauffe à une température T_{revenu} , maintien à T_{revenu} pendant un temps prédéterminé, suivie d'un refroidissement contrôlé, T_{trempe} étant supérieure à T_{revenu} .

[0056] De préférence, le procédé de l'invention comprend en outre les étapes additionnelles suivantes :

- j. fournir une chambre à vide et insérer la pièce à l'intérieur de la chambre à vide ;
- 25 k. réaliser un vide partiel dans la chambre à vide enfermant la pièce inférieure à 50000 Pa, de manière préférée inférieure à 10000 Pa et de manière encore plus préférée inférieure à 5000 Pa.

Il est possible alors de réaliser les étapes e. et/ou f. et/ou g. et/ou h. dans un vide poussé ou partiel. L'avantage est de pouvoir mieux contrôler, voire d'éviter toute contamination du matériau constituant la pièce.

[0057] De préférence, le procédé de l'invention comprend en outre les étapes additionnelles suivantes :

- l. fournir un échangeur thermique ;

m. mettre en contact la pièce avec l'échangeur thermique pendant l'étape f..
Un tel mode de réalisation préféré permet de refroidir la pièce plus rapidement et plus efficacement.

5 **[0058]** De préférence, le procédé de l'invention comprend en outre les étapes additionnelles suivantes :

n. fournir un bain de liquide ;

o. immerger partiellement la pièce dans le bain de liquide pendant l'étape f., de manière plus préférée, immerger entièrement la pièce.

10 Un tel mode de réalisation préféré permet de refroidir la pièce plus rapidement et plus efficacement.

[0059] De préférence, le matériau constituant au moins partiellement la pièce est un matériau métallique. La méthode de l'invention est en effet particulièrement adaptée pour ce type de matériaux (les métaux).

15 **[0060]** Par exemple, le matériau métallique constituant au moins partiellement la pièce est un acier au carbone, de préférence un acier comprenant 1% de carbone en poids. Un acier au carbone est un terme connu d'un homme du métier. Il désigne en général un acier dont le principal composant d'alliage est le carbone, dans des portions comprises par exemple entre 0.02% et 2% en masse.

20 **[0061]** Les inventeurs proposent également un système pour le traitement thermique en volume d'une pièce ayant une surface externe délimitant son volume, le système comprenant :

- une source laser configurée pour irradier au moins une portion de la surface externe de la pièce avec une puissance et une durée d'exposition laser pour obtenir une élévation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce pour induire une modification de structure du matériau constituant la pièce ;
- des moyens de support pour supporter la pièce avec un degré d'isolation thermique entre eux et la pièce.

30 De préférence, le système de l'invention est utilisé pour la trempe en volume d'une pièce.

[0062] Les modes de réalisation particuliers et avantages associés présentés pour la méthode de l'invention s'appliquent au système de l'invention, mutatis mutandis.

5 **[0063]** De préférence, la source laser est une source laser continue, ou à impulsions de durées supérieures à 1 ms, ou à impulsions de durées comprises entre 20 et 30 ms.

10 **[0064]** De préférence, l'élévation de température est une élévation de température supérieure à 200 °C, de manière préférée supérieure à 400 °C, de manière plus préférée supérieure à 700 °C, de manière encore plus préférée supérieure à 850 °C.

[0065] De préférence, l'élévation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce est une élévation de température dans au moins 80%, de manière préférée au moins 90%, de manière plus préférée 95%, de manière encore plus préférée 99% du volume de la pièce.

15 **[0066]** Selon un mode de réalisation possible, les moyens de support présentent une surface de support pour entrer en contact avec la pièce, la surface de support ayant une aire inférieure à 10 % de la surface externe de la pièce, de préférence inférieure à 5 %, de manière encore plus préférée inférieure à 1% de la surface externe de la pièce. Avec ce mode de réalisation préféré, le contact
20 entre la pièce à tremper et les moyens de support est réduit, diminuant la possibilité de transfert de chaleur par conduction de la pièce vers les moyens de support. Cela permet d'augmenter davantage la température au sein de la pièce durant la chauffe par irradiation laser car la chaleur générée sur la portion de surface externe de la pièce à tremper n'a pas beaucoup d'autres solutions que
25 de diffuser au sein du volume de la pièce. Le transfert de chaleur de la pièce vers les moyens de support est d'autant plus réduit qu'ils comprennent un matériau réfractaire. De préférence, les moyens de support ont une conductivité thermique inférieure à 20 W.m⁻¹.°C⁻¹ à 25 °C.

30 **[0067]** Selon un autre mode de réalisation possible, les moyens de support présentent une surface de support plane pour supporter la pièce. Dans un tel cas, il est possible d'avoir un système où la pièce à tremper reste en position facilement. Il n'y a alors pas besoin, en général, d'avoir des moyens tels des pinces qui maintiennent la pièce en position.

[0068] De préférence, les moyens de support ont une conductivité thermique inférieure à $20 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de manière plus préférée inférieure à $10 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de manière encore plus préférée à $5 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.

5 **[0069]** De préférence, la pièce est constitué d'un matériau ayant une conductivité thermique supérieure à $15 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de manière plus préférée supérieure à $35 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ et de manière encore plus préférée supérieure à $50 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.

10 **[0070]** De préférence, le volume de la pièce est compris entre $0,01 \text{ mm}^3$ et 1 cm^3 , de manière plus préférée compris entre $0,1 \text{ mm}^3$ et 500 mm^3 , et de manière encore plus préférée entre 1 mm^3 et 100 mm^3 .

[0071] De préférence, la source laser est configurée pour irradier la portion de surface externe d'une pièce avec un faisceau laser d'une puissance inférieure à 100 W , de manière plus préférée inférieure à 50 W , de manière encore plus préférée inférieure à 10 W .

15 **[0072]** Selon un autre mode de réalisation possible, le système comprend en outre une fibre optique et il est conçu de sorte qu'un faisceau laser issu de la source laser est apte à atteindre par l'intermédiaire de la fibre optique au moins une portion de surface externe d'une pièce supportée par les moyens de support. L'utilisation de la fibre optique permet de guider un faisceau laser issu de la
20 source laser. Cela procure une plus grande flexibilité au système. En particulier, il est possible d'éloigner la source laser de la pièce à tremper. Pour certaines applications, une telle configuration peut être préférée.

[0073] Selon un autre mode de réalisation préféré, la source laser comprend :

- 25
- un générateur de faisceau laser,
 - des moyens de contrôle de faisceau configurés pour moduler le profil en intensité du faisceau laser émis par le générateur de faisceau laser.

[0074] De préférence, les moyens de contrôle de faisceau comprennent :

- 30
- une fibre optique de section prédéterminée comprenant une entrée et une sortie, apte à transporter un faisceau laser émis par le générateur de faisceau laser entre son entrée et sa sortie, de manière plus préférée, la fibre optique est multimode ;

- un dispositif de projection de faisceau laser apte à projeter sur la pièce, une image du faisceau laser à sa sortie de la fibre optique, de manière plus préférée de la fibre optique multimode.

5 **[0075]** De préférence, le dispositif de projection de faisceau laser est configuré pour projeter l'image du faisceau laser sur la pièce avec un faisceau laser collimaté.

10 **[0076]** De préférence, le dispositif de projection de faisceau laser est apte à ajuster un grandissement entre la section prédéterminée de fibre optique multimode prise à la sortie et la image du faisceau laser lorsque celle-ci est projetée sur ladite pièce.

[0077] De préférence, les moyens de contrôle de faisceau comprennent :

- une lentille ménisque configurée pour modifier le diamètre du faisceau laser émis par le générateur de faisceau laser en un faisceau laser modifié collimaté.

15 **[0078]** De préférence, les moyens de contrôle de faisceau comprennent :

- un élément optique ayant une surface optique asphérique ou une surface optique apte à induire un décalage de phase.

[0079] De préférence, les moyens de contrôle de faisceau comprennent :

- un élément optique de diffraction.

20 **[0080]** De préférence, la source laser comprend en outre des moyens de focalisation de faisceau positionnés entre les moyens de contrôle de faisceau et la pièce.

25 **[0081]** Selon un autre mode de réalisation possible, la fibre optique multimode a une longueur comprise entre 1 m et 12 m, de manière plus préférée une longueur comprise entre 2 m et 8 m.

30 **[0082]** De préférence, le système comprend en outre un scanner pour pouvoir diriger un faisceau laser issu de la source laser sur différentes pièces à tremper en volume. Cela permet d'avoir un système et un procédé de traitement thermique encore plus efficace car on peut traiter facilement et rapidement plusieurs pièces. Par exemple, un travail en plateau est possible, où différentes pièces à traiter sont supportées par un plateau et où le faisceau laser est dirigé sur les différentes pièces grâce au scanner.

[0083] De préférence, comprend le système en outre un capteur de température, de préférence un pyromètre, pour mesurer une température de la pièce. Grâce à ce mode de réalisation, il est possible de prévoir une boucle de régulation pour régler la puissance de la source laser en fonction de la température mesurée par le capteur de température. Par exemple, un pyromètre qui est un exemple de capteur de température mesure la température de la portion de la surface externe de la pièce qui est irradiée par la source laser.

[0084] Les inventeurs proposent aussi un ensemble comprenant le système tel que décrit ci-dessus avec tous ses modes de réalisation préférés et la pièce à tremper.

[0085] Les inventeurs proposent l'approche théorique suivant du procédé de l'invention

[0086] MONTÉE EN TEMPÉRATURE / Apport de chaleur par laser

De l'énergie est apportée à la pièce via un faisceau laser (L) ayant une fluence déterminée ($\text{flux} = \text{Puissance du laser (W)} / \text{surface d'irradiation (cm}^2\text{)}$). Préférentiellement, et comme décrit ci-dessus pour certains modes de réalisation, de multiples faisceaux pourraient frapper l'ensemble de l'enveloppe (ou surface externe) de la pièce pour réduire encore le gradient de température entre le cœur de la pièce et la portion de surface externe irradiée. Le laser de puissance prédéterminée P illumine la portion de surface externe de la pièce avec un diamètre D par exemple pour un spot laser ayant une section circulaire.

[0087] Etude du bilan thermique dans la pièce irradiée

Le transfert de chaleur entre la pièce et son environnement extérieur est gouverné par trois phénomènes : la conduction, la convection, le rayonnement.

Les propriétés physiques à prendre en compte sont les suivantes :

- le coefficient de conductibilité thermique k (ou conductivité thermique) mesure la propension d'un corps à développer un flux de chaleur quand il subit un écart de T° ;
- la chaleur spécifique c (ou capacité thermique massique) mesure le taux de variation de l'énergie interne avec la T° ; cette grandeur reflète la capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie sous forme thermique quand sa température augmente ;

- la capacité calorifique C (ou capacité thermique) mesure la capacité d'un milieu à accumuler (ou à restituer) de la chaleur. Inversement, cette grandeur mesure l'énergie qu'il faut lui transférer pour augmenter sa température d'un Kelvin.

5 À partir de ces coefficients, il est possible de calculer pour différents matériaux de la pièce, la diffusivité thermique $\alpha = k/(pc)$ qui mesure la facilité de propagation de la chaleur dans le matériau de la pièce. Les distances parcourues par une information thermique après t secondes sont proportionnelles à la racine carrée de $\alpha.t$. Dans l'équation $\alpha = k/(pc)$, p est la masse volumique (p ex en g.cm^{-3}) et c est la chaleur spécifique (généralement exprimée en $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$).

Exemples de diffusivité thermique α pour des matériaux couramment utilisés : α (acier) = $4,30\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$; α (aluminium) = $9,79\text{E-}05 \text{ m}^2/\text{s}$; α (laiton) = $3,79\text{E-}05 \text{ m}^2/\text{s}$; α (titane) = $7,66\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$.

15 **[0088]** Le tableau 1 montre une estimation de gradient thermique en estimation une profondeur de pénétration pour quelques métaux connus.

Tableau 1 – Estimation de gradients thermiques

		Acier	Aluminium	Laiton	Titane
	α	4,30E-06	9,79E-05	3,79E-05	7,66E-06
		mm	mm	mm	mm
Profondeur de pénétration thermique :	après 1 s	2,1	9,9	6,2	2,8
	après 2 s	2,9	14,0	8,7	3,9
	après 3 s	3,6	17,1	10,7	4,8
	après 4 s	4,1	19,8	12,3	5,5
	après 5 s	4,6	22,1	13,8	6,2

Ces estimations montrent pour une même puissance d'illumination sur la surface externe, la distance par rapport à la surface externe illuminée qui atteint une température proche de celle de la surface externe. Plus le coefficient de diffusion thermique est élevé, plus la chaleur se diffuse rapidement dans le cœur de la pièce. Ces estimations sont destinées à donner des ordres de grandeurs car les différents coefficients utilisés sont pris dans des conditions normales (20°C), or de tels coefficients varient avec la température (par exemple, k diminue avec la température pour l'acier alors que k augmente avec la température pour certains alliages et le laiton).

Il est possible de déterminer un ordre de grandeur du temps pour que la surface opposée de la pièce soit à la même température que la surface de la pièce

illuminée par le faisceau laser (ce qui permet de donner une idée de l’amplitude du gradient de température dans la pièce/l’épaisseur de la pièce). De tels ordres de grandeurs sont indiqués dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Amplitude du gradient de température

	Acier	Aluminium	Laiton	Titane
Temps pour atteindre la surface opposée :	ms	ms	ms	ms
Cas d’une feuille de 1mm :	233	10	26	131
Cas d’un cylindre de 600µm de section :	84	4	9	47
Cas d’une disque de 250µm d’épaisseur	15	1	2	8
Cas d’une plaque de 2mm d’épaisseur	931	41	105	522
Cas d’une plaque de 5mm d’épaisseur	5.816	255	659	3.263

5

[0089] On constate que pour des pièces d’épaisseur inférieure à 2 mm pour l’acier et le titane, 5 mm pour le laiton et 10 mm pour l’aluminium, le temps pour que la chaleur se propage de la surface irradiée à la surface opposée est inférieur à 1 s. Une telle approche permet de déterminer un ordre de grandeur d’un gradient maximum entre la surface irradiée et la surface opposée tel que montré dans le Tableau 3.

10

Tableau 3 – Temps de propagation de la chaleur de la surface irradiée à la surface opposée

Temps de montée :	200°C/s				
		Acier	Aluminium	Laiton	Titane
Temps pour atteindre la surface opposée :		DT (c°)	DT (c°)	DT (c°)	DT (c°)
Cas d’une feuille de 1mm :		47	2	5	26
Cas d’un cylindre de 500µm de section :		17	1	2	9
Cas d’une disque de 250µm d’épaisseur :		3	0	0	2
Temps de montée :	100°C/s				
Cas d’une plaque de 2mm d’épaisseur		93	4	11	52
Cas d’une plaque de 5mm d’épaisseur		582	26	66	326

[0090] Calculs des temps de montée en température de la pièce
Les inventeurs ont constaté que si le temps de montée est de 200 °C/s, des épaisseurs de pièce allant jusqu’à 1 mm donnent des gradients de température dans la pièce acceptables pour la plupart des applications visée par le procédé de l’invention et pour la plupart des matériaux. En revanche, des gradients de température acceptables pour une épaisseur de pièce de 5 mm nécessitent l’utilisation de matériaux ayant des coefficients de conductibilité thermique élevés

15

20

comme l'aluminium. Ainsi, la vitesse de montée en température de la pièce sera proportionnelle à la quantité d'énergie apportée par le laser sur la surface irradiée de la pièce par unité de temps, soit la fluence du faisceau laser multipliée par la surface irradiée.

- 5 Pour les phases de montée en température, le calcul de la quantité d'énergie à apporter par le faisceau laser dépendra du bilan thermique dans la pièce. En première approximation, la quantité de chaleur absorbée, générée par la pièce suite à un changement de phase, voire à un travail interne, Q_{gen} , est négligée.

[0091] 1. Apport de l'énergie par le laser : Q_{in} .

- 10 On suppose une surface supérieure de la pièce irradiée avec un faisceau laser (pas de multi-faisceau) avec une énergie de laser P :

$$Q_{\text{in}} = P \times (\text{surface irradiée} / \text{surface du faisceau}) \times (1-R)$$

où R est la réflectivité du matériau constituant la pièce, de préférence constituant la surface externe de la pièce.

- 15 2. Perte d'énergie :

2.a. par conduction :

La pièce est en contact avec les moyens de support. Afin de minimiser les pertes par conduction, on suppose que les moyens de support comprennent des surfaces de contact très petites et/ou en céramique pour minimiser l'étendue de

- 20 la zone de transfert et le coefficient de conduction interstitiel.

2.b. par convection :

La convection pendant la phase de montée peut être minimisée par :

- une limitation à une convection naturelle (pas de flux d'air externe)
- la mise sous vide partiel dans une chambre à vide (le vide partiel étant généré par une pompe à vide) ; un tel vide partiel, en plus de limiter les pertes par convection a aussi pour intérêt de ralentir très fortement une oxydation (voir une décarbonisation de la surface de la pièce à plus haute température).

2.c. par rayonnement :

- 30 La perte par rayonnement est maximisée lors de la mise en œuvre du procédé de l'invention par rapport à l'utilisation de four puisque l'environnement extérieur reste à une température modérée, généralement à température ambiante (entre 15 et 25 °C, de préférence à 20 °C). La perte par rayonnement variant avec T^4 ,

elle est à prendre en compte pour la fin de la phase de montée en température de la pièce, quand la différence entre la température de l'environnement est grande (significative) par rapport à celle de la pièce.

Une estimation des pertes par conduction, convection et rayonnement montrent que celles-ci sont très faibles par rapport à l'apport d'énergie du laser si les montées en température de la pièce sont de l'ordre de 100 à 200 °C/s.

Une approximation qui négligerait de telles pertes permet de déterminer un ordre de grandeur pour la puissance laser à apporter en fonction de la température cible, du matériau et du temps souhaité pour obtenir cette température.

10 **[0092] Exemple 1 :**

Il est désiré de porter une pièce en acier à 820 °C en 4 s (en partant d'une température ambiante de 20 °C), soit une différence de température DT de 800 °C nécessitant un temps de montée en température de 200° C/s. On suppose que la pièce est un cylindre de 0,6 mm de section sur 4 mm de long :

- 15 - pour les 400 premiers °C, les pertes par convection seront de l'ordre de 2 à 10% de l'apport de chaleur Q_{in} , les pertes par rayonnement seront de l'ordre de 1 à 2% de l'apport de chaleur Q_{in} ;
- pour les 400 derniers °c, les pertes par convection seront de l'ordre de 4 à 20% de l'apport de chaleur Q_{in} , les pertes par rayonnement seront de l'ordre de 5 à 15% de l'apport de chaleur Q_{in} .

Si on néglige ces pertes, la quantité d'énergie à apporter Q_a à la pièce sera alors:

$Q_a = P \times (1-R) = \rho c \times DT \times V$, soit 3,1 J en 4 s, soit environ 0,75 W.

ρ est la masse volumique et c la chaleur spécifique.

La puissance du laser P devra prendre en compte la réflectivité R du matériau qui dépendra de son état de surface, de la longueur d'onde du laser, et de la polarisation du faisceau laser. Par exemple si $R = 70\%$, une puissance laser inférieure à 3 W est nécessaire pour réaliser le traitement thermique de la pièce de l'exemple 1.

[0093] Exemple 2 :

30 Il est désiré de porter une pièce en aluminium à 420 °C en 4s, (en partant d'une température ambiante de 20 °C), soit une différence de température DT de 400 °C nécessitant un temps de montée de 100 °C/s. La pièce est une tige de 2 x 2 mm de section sur 6 mm de long :

- pour les 200 premiers °C, les pertes par convection seront de l'ordre de 5 à 15 % de l'apport de chaleur Q_{in} , les pertes par rayonnement seront de l'ordre de 1 à 2% de l'apport de chaleur Q_{in} ;
- pour les 200 derniers °c, les pertes par convection seront de l'ordre de 15 à 30% de l'apport de chaleur Q_{in} , les pertes par rayonnement seront de l'ordre de 5 à 10% de l'apport de chaleur Q_{in} .

Si on néglige ces pertes, la quantité d'énergie à apporter Q_a sera alors :

$Q_a = P \times (1-R) = \rho c \cdot DT \cdot V$, soit 24 J en 4 s, soit 6 W.

La puissance du laser devra prendre en compte la réflectivité R du matériau qui dépendra de son état de surface, de la longueur d'onde du laser, et de la polarisation du faisceau laser. Par exemple, pour $R = 70 \%$, une puissance laser inférieure à 20W est nécessaire pour réaliser le traitement thermique de la pièce de l'exemple 2. En considérant que les pertes par convection et rayonnement notamment, ne seraient pas négligeables et nécessiterait de multiplier par 2, la puissance laser nécessaire Q_a , une puissance laser de 40W serait alors nécessaire, ce qui est une puissance (laser) relativement basse.

[0094] Puissance des lasers diode et à fibre actuels :

Les lasers actuels permettent d'avoir des puissances de l'ordre de :

- laser compact, refroidi à air et peu onéreux : 10W à 400W avec un wall plug efficiency > 40 % ;
- lasers plus puissants refroidis à l'eau sont disponibles jusqu'à 120kW avec des wall plug efficiency > 40%.

Un wall plug efficiency de 40% signifie que 100W de puissance électrique est converti en 40W de puissance laser.

Les puissances disponibles pour réaliser le traitement thermique (trempe par exemple) à cœur de pièces de petits volumes correspondent tout à fait bien à l'ordre de grandeur de puissance nécessaire pour le traitement thermique (trempe) d'au moins une pièce. L'utilisation de sources lasers bien plus puissantes permettrait de réaliser des traitement thermique (trempe par exemple) en parallèle sur de nombreuses pièces. Ainsi,

- un laser compact de 400 W permettrait de réaliser simultanément la trempe d'une série de 50 à 100 pièces de l'exemple 1 ;

- un laser plus puissant de 4 kW permettrait de réaliser simultanément la trempe d'une série de 500 à 1000 pièces de l'exemple 1, ou de 50 à 100 pièces de l'exemple 2.

[0095] STABILISATION ET DIMINUTION DE LA TEMPÉRATURE

- 5 Une fois la température de la pièce pour le traitement thermique désirée atteinte, si le laser est coupé, l'apport d'énergie est alors nul. La pièce va alors rejeter une quantité d'énergie (quantité de chaleur Q_{out}) par conduction, convection et rayonnement.

Comme expliqué précédemment, le système permet d'optimiser les pertes par rayonnement puisque l'environnement extérieur n'est que peu affecté par l'apport de chaleur localisé. La différence de température entre la pièce et l'environnement extérieur sera alors optimale puisque l'environnement extérieur reste à température ambiante (par exemple 20 °C). Cette perte par rayonnement sera importante pour les hautes températures vu la dépendance en T^4 .

- 15 Pour les pertes par convection, elles peuvent être :

- soit minimisées en travaillant sous vide partiel ou
- soit augmentées en augmentant le coefficient de convection par :
 - l'apport d'un gaz (air, gaz neutre, ou Azote) à température ambiante ;
 - l'apport d'un gaz (air, gaz neutre, ou Azote) refroidi via une détente adiabatique ou par vortex ;
 - l'immersion de la pièce dans un liquide (descente dans un bain (eau, huile, glycol)).

Pour les pertes par conduction, elles peuvent être :

- soit minimisées en travaillant sur des moyens de support isolant (céramique) et avec une surface de contact faible (exemple cylindre déposé sur une plaque, plaque sur pointes)
- soit augmentées en augmentant :
 - la surface de contact (posage permettant un contact superficiel) ;
 - la conduction par une interface conductrice.

- 30 Si l'on veut une pente douce de descente en température (cooling rate), on privilégiera un posage (des moyens de support) isolant, une convection naturelle ou sous vide partiel (dans une chambre à vide).

Si l'on veut une pente plus importante, on privilégiera dans l'ordre :

- l'utilisation d'un flux gazeux à température ambiante ;
- l'utilisation d'un flux gazeux à basse température ;
- la mise en contact de la pièce avec une surface conductrice thermiquement (échangeur thermique).

5 Si l'on veut atteindre une pente très importante (par exemple pour l'hypertrempe), on permettra l'immersion (immersion partielle) de la pièce dans un liquide.

Tous ces phénomènes peuvent être combinés et utilisés de manière successive en fonction des paliers et passages d'une phase à l'autre (fonction des matériaux et de la structure initiale de la pièce).

10 **[0096] Exemple 3 :**

A. Après montée de la température de la pièce par laser (avec puissance P_1), des pertes par rayonnement et convection vont faire descendre la température de la pièce. Si l'on veut garder un palier isotherme, il est proposé de contrebalancer ces pertes par un apport limité de puissance laser P_2 ($P_2 < P_1$)
15 pour équilibrer le bilan thermique de la pièce.

B. Après montée de la température de la pièce par laser (Puissance P) sous vide partiel (pour éviter l'oxydation ou la décarbonisation), on injecte un gaz neutre refroidi pour augmenter les pertes par convection.

C. Après montée de la température de la pièce par laser (Puissance P) sous vide
20 partiel (pour éviter l'oxydation ou la décarbonisation), on fait descendre la pièce pour la mettre en contact avec une surface conductrice thermiquement (échangeur thermique) qui facilitera les pertes par conduction.

4d. Après montée de la température de la pièce par laser (Puissance P), on plonge (immerge) la pièce grâce à un vérin dans un bain liquide (sel fondu,
25 huile,...) pour réaliser une hypertrempe.

Les moyens de refroidissement utilisés dépendent par exemple de la vitesse de refroidissement souhaitée mais également de la géométrie de la pièce. Par exemple une pièce présentant une surface externe importante dans un même plan pourra être efficacement refroidie par la mise en contact avec une surface
30 conductrice thermiquement (échangeur thermique).

[0097] Contrôle du bilan énergétique de la pièce.

La puissance laser P est contrôlée très facilement via son interface convertissant le courant électrique en puissance lumineuse P .

L'apport en gaz et le contrôle de sa pression sont réalisés via le contrôle d'un ilot pneumatique par exemple.

La descente d'un vérin pour le déplacement de la pièce sur une surface conductrice thermiquement (échangeur thermique) ou dans un bain est réalisée
5 par exemple en transmettant un signal électrique aux moyens de pilotage d'un vérin pneumatique ou électrique.

[0098] Un contrôle de la température de la pièce peut être réalisé :

- via une sonde de température placée sur les moyens de support. Celle-ci génère alors un lien conductif avec la pièce qui augmentera la perte par
10 conduction et augmentera la pente de descente de température ;
- via des moyens de mesure sans contact qui ne perturberont pas les cycles de traitement thermique (trempe) : caméra thermique, pyromètre.

Brève description des figures

[0099] Ces aspects de l'invention ainsi que d'autres seront clarifiés dans
15 la description détaillée de modes de réalisation particuliers de l'invention, référence étant faite aux dessins des figures, dans lesquelles:

- la Fig.1a montre un mode de réalisation du système selon l'invention;
- les Figs. 1b et 1c montrent d'autres modes de réalisation du système selon l'invention ;
- 20 - la Fig.2 montre un autre mode de réalisation possible du système selon l'invention;
- les Figs.3a, 3b et 3c montrent différents exemples de pièce pouvant être trempées en volume avec le procédé de l'invention;
- les Figs. 4a, 4b montrent un autre mode de réalisation possible du procédé
25 et du système selon l'invention ;
- les Figs. 5a, 5b montrent un autre mode de réalisation possible du procédé et du système selon l'invention ;
- les Figs. 6a, 6b, et 6c illustrent une simulation en température lors de la réalisation d'un procédé selon l'invention ;
- 30 - la Fig. 7 montre un exemple de cycle thermique pouvant être réalisé en partie ou dans son entièreté par le procédé ou le système selon l'invention ;

- les Figs. 8a, 8b et 8c montrent des modes de réalisation préférés d'une source laser selon l'invention ;
- la Fig. 9 montre un profil d'intensité du faisceau laser projeté sur une pièce selon un mode de réalisation préféré de l'invention ;
- 5 - les Figs. 10a et 10b représentent des modes de réalisation préférés du système selon l'invention.

Les dessins des figures ne sont pas à l'échelle. Généralement, des éléments semblables sont dénotés par des références semblables dans les figures. La présence de numéros de référence aux dessins ne peut être considérée comme
10 limitative, y compris lorsque ces numéros sont indiqués dans les revendications.

Description détaillée de certains modes de réalisation de l'invention

[0100] La figure 1a montre un exemple de mode de réalisation du système pour le traitement thermique en volume d'une pièce 2 selon l'invention. De préférence, le traitement thermique correspond à une trempe en volume. Le
15 système selon l'invention comprend une source laser 3 qui peut être continue ou à impulsions. Des moyens de support 4 permettent de supporter la pièce 2, à tremper par exemple. Dans l'exemple montré à la figure 1a, ces moyens de support ont une surface supérieure essentiellement plane pour supporter et maintenir en position la pièce 2 à tremper dont la face inférieure 28 est en contact
20 avec les moyens de support 4.

[0101] Une fois la pièce 2 placée et maintenue en position par les moyens de support 4, le procédé de l'invention consiste à irradier avec la source laser 3 au moins une portion 23 de la surface externe 22 de la pièce 2. Dans l'exemple de la figure 1a, la source laser 3 émet un faisceau lumineux collimaté de sorte à
25 limiter les réglages concernant la position d'une distance de focalisation du faisceau lumineux collimaté par rapport à la surface externe 22 de la pièce 2. Dans l'exemple de la figure 1b, la source laser 3 émet un faisceau lumineux divergent afin de pouvoir irradier une grande portion 23 de la surface externe 22 de la pièce 2. Dans l'exemple de la figure 1c, la source laser 3 émet un faisceau
30 lumineux convergent afin de pouvoir diriger le faisceau lumineux sur une portion 23 choisie de la surface externe 22 de la pièce 2. Cet exemple de la figure 1.c illustre par exemple l'utilisation d'un faisceau lumineux homogénéisé puis

focalisé. Cette surface externe 22 délimite le volume de la pièce 2 à tremper. Cette irradiation par la source laser 3 peut être directe ou indirecte. Ainsi, il est possible d'insérer un ou plusieurs éléments optiques entre la source laser 3 et la pièce 2, par exemple pour dévier un faisceau laser produit par la source laser 3 et le diriger vers la pièce 2. Dans les exemples montrés en figures 1a, 1b, et 1c, la pièce 2 est irradiée depuis sa surface supérieure uniquement. Suite à cette irradiation laser, la température de la pièce 2 va augmenter à partir de la portion 23 de surface illuminée par la source laser 3.

[0102] Les moyens de support 4 présentent un certain degré d'isolation thermique entre eux et la pièce 2 ou de manière équivalent une certaine capacité d'isolation thermique entre eux et la pièce 2. Un degré d'isolation thermique peut être défini par une capacité à limiter les échanges de chaleur entre la pièce 2 et les moyens de support 4. Il est possible d'avoir un tel effet technique de différentes manières. Ainsi, il est possible d'utiliser des moyens de support 4 ayant une faible conductivité thermique limitant un échange de thermique par conduction suite au contact entre la pièce 2 et les moyens de support 4. Il est également envisageable de limiter les aires de contact entre la pièce 2 et les moyens de support 4. Des aires de contact limitées entre la pièce 2 et les moyens de support 4 permettent également de limiter tout échange de chaleur par conduction entre la pièce 2 et les moyens de support 4. Pour une même conductivité thermique des moyens de support 4, un échange de chaleur entre la pièce 2 et les moyens de support 4 sera plus faible lorsque la surface de contact (les aires de contact) entre pièce 2 et moyens de support 4 est plus petite. Pour l'invention, il est préféré d'avoir des moyens de support 4 tels que de l'énergie thermique (ou chaleur) présente à un endroit de la pièce 2 (par exemple sur un point de sa surface externe 22) a plus tendance à diffuser dans la pièce 2 plutôt qu'à diffuser vers les moyens de support 4.

[0103] Quand on irradie la pièce 2 avec la source laser 3, la chaleur générée au niveau de la portion 23 de surface éclairée par la source laser 3 a tendance à diffuser dans tout le volume de la pièce 2. Les inventeurs ont remarqué qu'il est possible d'avoir une élévation en température dans tout le volume de la pièce 2 (et donc pas uniquement au niveau de la portion 23 éclairée) induisant une modification de structure du matériau constituant la pièce 2.

[0104] Dans les exemples montrés en figures 1a, 1b, 1c, et en supposant que les moyens de support 4 limitent tout échange de chaleur entre eux et la pièce 2, les inventeurs ont l'interprétation physique suivante pour expliquer ce phénomène étonnant. La chaleur générée au niveau de la portion 23 irradiée
5 atteint la surface inférieure opposée 28 après un certain temps. Il est préféré d'avoir une pièce 2 d'assez faible épaisseur (5 mm ou moins, par exemple entre 2 et 1 mm) de sorte que la chaleur arrive rapidement à la surface inférieure 28 : entre 1 et 4 s. Une fois la chaleur atteignant la surface inférieure 28, elle va 'rebondir' vu les faibles transmissions de chaleur vers les moyens de support 4.
10 La seule diffusion de chaleur importante possible est donc vers le cœur du matériau, conduisant à une élévation sensiblement, voire tout à fait homogène de température.

[0105] Après cette étape de chauffe, l'invention consiste de préférence à stopper l'irradiation laser utilisée pour la chauffe. Lorsqu'il s'agit d'un procédé de
15 trempe en volume, cela permet de figer le matériau dans une structure autre que celle présente avant la chauffe. Pour certaines pièces 2, par exemple de petite taille (c'est-à-dire dont le volume est inférieur à 1 cm³), il n'est pas nécessaire de prévoir un refroidissement forcé pour figer la pièce 2 dans cette nouvelle structure de matériau. Cela procure un énorme avantage par rapport aux procédés de
20 trempe en volume connus où l'utilisation d'un fluide est souvent nécessaire pour refroidir la pièce 2 et la figer dans une nouvelle structure cristallographique.

[0106] Les inventeurs ont remarqué, de manière surprenante qu'il n'était pas nécessaire d'avoir des sources lasers 3 très puissantes pour réaliser une trempe en volume de pièces 2 en utilisant le procédé de l'invention. Ainsi, il est
25 possible d'avoir une trempe en volume avec des sources lasers 3 continues ayant des puissances de l'ordre de ou inférieures à 50 W, par exemple 20W ou 6W. Cela est d'autant plus vrai que la pièce 2 a un petit volume, c'est-à-dire inférieur au cm³. On peut alors obtenir des élévations de température de l'ordre de 3000 K sur la portion 23 irradiée.

30 **[0107]** La figure 2 montre un autre mode de réalisation de l'invention pour lequel la pièce 2 est irradié par deux sources laser de sorte à avoir une portion 23 irradiée de la pièce 2 plus grande qu'avec une source laser. Cela est avantageux afin d'obtenir une élévation de température dans l'ensemble du

volume de la pièce le plus rapidement possible. Ce mode de réalisation est particulièrement avantageux pour des pièces 2 épaisses et/ou présentant des géométries complexes afin d'avoir des apports de chaleur répartis autour de la pièce 2. Ce mode de réalisation peut être mis en œuvre indifféremment à partir
5 de modes de réalisation comprenant différents exemples de moyens de support 4. Avec le mode de réalisation de la figure 2, pour une même pièce 2, la chaleur générée au niveau de la portion 23 irradiée atteint la surface inférieure opposée 28 après un temps plus court que pour le mode de réalisation de la figure 1. Ce mode de réalisation de la figure 2 peut être mis en œuvre indifféremment à partir
10 des modes de réalisation des figures 1a, 1b et 1c.

[0108] Les figures 3a-c montrent différents exemples de pièce 2 pouvant être trempées en volume avec le procédé de l'invention. Les figures 3a-c illustrent le cœur 27 de pièces 2 de géométries différentes. Le cœur est souvent situé dans le volume de la pièce 2 à une position d'équidistance par rapport à la surface
15 externe 22. Le procédé de l'invention permet de réaliser la trempe de tout le volume de la pièce 2 y compris la trempe du cœur 27 de la pièce 2.

[0109] Les figures 4a et 4b illustrent un mode de réalisation particulier de l'invention. Les moyens de support 4 ont ici une forme de pointes de sorte à minimiser la surface de contact entre eux et la pièce 2. Comme on
20 peut le voir en figure 5a, les inventeurs proposent en outre pour ce mode de réalisation particulier un échangeur thermique 18 positionné à une certaine distance de la surface externe 22 (préférentiellement de la surface inférieure opposée 28) de la pièce 2. À l'issue de l'étape e. du procédé de l'invention, un refroidissement de la pièce 2 est initié (par exemple durant l'étape f. pour les modes de réalisation comprenant une telle étape). En figure 4b, selon ce mode
25 de réalisation particulier de l'invention, le rayonnement laser est arrêté. De façon quasi-simultanée, la pièce 2 est mise en contact physique avec l'échangeur thermique 18 par l'intermédiaire de sa surface inférieure opposée 28. Il s'en suit un refroidissement accéléré de la pièce 2 grâce à l'augmentation significative de
30 l'échange de chaleur par conduction entre la pièce 2 et l'échangeur thermique 18. La mise en contact peut être légèrement retardée par rapport au début de la phase de refroidissement, par exemple par rapport au début de l'étape f., afin d'attendre qu'une certaine quantité de chaleur puisse être émise par radiation de

la pièce 2 vers l'environnement extérieur. Dans une telle configuration, la mise en contact de la pièce 2 avec l'échangeur thermique 18 permet ensuite une optimisation des échanges de chaleur de la pièce vers l'environnement extérieur lorsque les pertes par radiation sont moins importantes. De préférence, l'échangeur thermique 18 a une conductivité thermique (bien) supérieure à celle des moyens de support 4. Comme on peut le voir aux figures 4a et 4b, l'échangeur thermique 18 est de préférence apte à subir un mouvement relatif par rapport à la pièce 2. Pour cela, il peut par exemple être monté sur un vérin électrique ou pneumatique qui lui permet de décrire un mouvement relatif par rapport à la pièce 2.

[0110] Les figures 5a et 5b illustrent un autre mode de réalisation particulier de l'invention. Les moyens de support 4 ont également une forme de pointes de sorte à minimiser la surface de contact entre la pièce 2 et les moyens de supports 4 et réduire ainsi un transfert de chaleur par conduction entre eux et la pièce 2. Dans ce mode de réalisation particulier, les inventeurs proposent d'utiliser un bain de liquide 19 dont la surface supérieure est positionnée à une certaine distance de la surface externe 22 (préférentiellement de la surface inférieure opposée 28) de la pièce 2. À l'issue de l'étape e. du procédé de l'invention, un refroidissement est initié (et par exemple l'étape f. pour les modes de réalisation comprenant une telle étape). Cela correspond à la figure 5b où l'on voit que la source laser 3 a été éteinte. De façon quasi-simultanée, la pièce 2 est immergée (partiellement ou complètement) dans le bain de liquide 19. Sa surface externe 22 est alors en contact avec le bain de liquide 19. Il s'en suit un refroidissement accéléré de la pièce 2 grâce à l'augmentation significative de l'échange de chaleur par conduction et/ou convection entre la pièce 2 et le bain de liquide 19. L'immersion peut être légèrement retardée par rapport à la fin de l'étape e. et par rapport au début de l'étape f. pour les modes de réalisation comprenant une telle étape, afin d'attendre qu'un maximum de chaleur soit émise par radiation de la pièce 2 vers l'environnement extérieur. Lorsque les pertes par radiation sont moins importantes, alors l'immersion de la pièce 2 dans le bain de liquide 19 permet de refroidir encore la pièce 2 par des pertes par convection entre la pièce 2 et le bain de liquide 19. Pour permettre l'immersion de la pièce 2 dans le bain de liquide 19, les inventeurs proposent par exemple de monter les

moyens de support 4 supportant la pièce 2 sur un vérin électrique ou pneumatique. Cela permet d'imposer un mouvement vertical de la pièce 2 et donc son immersion dans le bain de liquide 19.

[0111] Les figures 6a, 6b, et 6c illustrent les résultats d'une simulation aux éléments finis. La figure 6a montre une moitié de portion de coupe longitudinale d'un cylindre 90 en acier de 1 mm^3 ayant une longueur axiale de 4 mm et une section de 0,6 mm de diamètre. Les points 91, 92, 93 représentent le centre du cylindre 90. Les points 91 et 93 sont situés sur la face externe de la pièce, la point 92 est situé au cœur de la pièce, à équidistance entre les point 91 et 93. Les points 94, 95, 96 représentent une face latérale du cylindre 90. Les points 94 et 96 sont situés sur la face externe de la pièce, la point 95 est situé au centre de la face latérale de la pièce, à équidistance entre les point 94 et 96. Les hypothèses suivantes sont utilisées pour la simulation dont les résultats sont présentés en figure 6b et 6c :

- puissance laser reçue sur la partie supérieure comprise entre les points 1 et 4 = 0,7W (puissance électrique : 1,8W) ;
- réflectivité R : 70% ;
- irradiation pendant 5 s ;
- k et c sont fonction de la température de la pièce ;
- refroidissement :
 - o par rayonnement avec ε (émissivité) constant = 0,25,
 - o par convection naturelle avec h (coefficient de transfert thermique généralement exprimé en $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$) constant = 10.
- puissance absorbée (Pa) par la pièce : 0,2W.

La figure 6b illustre l'évolution de la température en fonction du temps pour chacun des points 91 à 96 de la pièce simulée. Avec l'échelle de la figure 6b, les différentes courbes se superposent : ainsi, on déduit une absence de gradient de température significatif entre les différents points : l'évolution de la température en chacun des points 91 à 96 est sensiblement la même. La figure 6c montre un zoom au moment où il est mis fin à l'irradiation du laser. On observe à un instant donné, des gradients thermiques entre les différents points n'excédant pas 10°C . L'irradiation par le faisceau laser est centrée sur le point 91, selon la direction 91-93. Cela illustre que le procédé de l'invention est très bien adapté au traitement

thermique (trempe par exemple) de pièces (métalliques) ayant des volumes de l'ordre du cm^3 .

[0112] La Figure 7 montre un cycle thermique pouvant être mis en œuvre en partie ou dans son entièreté par le procédé selon l'invention. Un tel cycle thermique montre :

- des montées en température avec une pente définie via le contrôle de la puissance du laser, illustrées par les segments : AB, GH et KL ;
- des stabilisations de la température via le contrôle des pertes (par rayonnement et/ou convection et/ou conduction) et l'apport d'une puissance laser résiduelle pour contrebalancer celles-ci, illustrées par les segments BC, DE, FG, HI et LM ;
- des descentes en température via l'optimisation des pertes de chaleur de la pièce vers l'environnement extérieur, illustrées par les segments CD, EF, IJ, MN. De préférence, la source laser 3 est éteinte durant ces descentes en température ou refroidissements.

Les montées et descentes en température peuvent être :

- très douces : isolation conductive, convection naturelle ou maintien en vide partiel et si besoin apport très léger de puissance laser,
- douces : convection naturelle à forcée (gaz à température ambiante),
- rapides : convection forcée (avec gaz refroidi), lien conductif,
- très rapides : déplacement dans une solution liquide (sels fondus, huile, glycol) à une température donnée ; forte puissance laser pour un échauffement rapide.

La portion de cycle thermique KLMN est souvent associée à un recuit. La portion de cycle thermique ABCDEF est souvent associée à une trempe. Pour une trempe sans palier isotherme DE, le point D est à une température proche de la température du point A et les points E et F sont supprimés. La portion de cycle thermique GHIJ est souvent associée à un revenu.

[0113] Exemple expérimental

Dans cet exemple expérimental, un procédé de trempe selon l'invention a été mis en œuvre avec une source laser 3 continue avec une puissance de faisceau laser en sortie de 0.7 W dirigé vers une portion de surface externe 22 d'une pièce 2 en acier. À $t = 0$ s, la pièce est à température ambiante (20°C), après 2 s d'irradiation

avec une puissance de laser de 0,7 W, la pièce atteint une température de 750 °C, après 3 s, la température est de 950 °C, entre 4 s et 5 s la température de la pièce atteint 1300 °C, ce qui correspond à une température cible pour le traitement thermique souhaité. La source laser 3 est alors éteinte. Après 6 s, la

5 température dans la pièce redescend à 800 °C, après 7 s la température est de 575 °C. Une étude métallurgique de la pièce révèle une transformation de la pièce au niveau métallurgique et une augmentation de la dureté à environ 800 HV (unité de la dureté Vickers).

La conclusion de cet essai expérimental révèle que seulement 0,2 W de

10 puissance laser absorbée par un volume de 1 mm³ pendant 5 s conduit au dépassement de la température de fusion (1300°C), aucun gradient de température en différents endroits de la pièce n'a été constaté. La descente en température montre une vitesse supérieure à 400°C/s jusqu'à atteindre une température de pièce 2 d'environ 800°C, puis un ralentissement à environ

15 200°C/s.

Une comparaison des résultats expérimentaux et du modèle montre que la montée en température est conforme au modèle/à la simulation montrée en figures 6a, 6b, 6c et expliquée ci-avant. Cependant, les pertes de chaleur de la pièce 2 vers l'environnement extérieur sont sous-estimées car les descentes de

20 température sont bien plus rapides que celle du modèle/ de la simulation. Les différences entre simulations et ce résultat expérimental peuvent s'expliquer du moins en partie par les limitations suivantes :

- le coefficient $h = 10$ n'est valable que pour de la convection naturelle ($\Delta T < 100^\circ\text{C}$). Les $\Delta T \gg 100^\circ\text{C}$ augmentent considérablement h ,
- 25 - les pertes par conduction interstitiel (céramique/acier) ne sont pas prises en compte dans la simulation,
- le coefficient ϵ est considéré comme constant avec la température dans le cas de la présente simulation, ce qui n'est pas le cas en réalité mais représente une approximation raisonnable.

30 **[0114]** Les figures 8a, 8b et 8c montrent des modes de réalisation préférés d'une source laser 3 de l'invention.

L'exemple du mode de réalisation de la figure 8a montre une source laser 3 comprenant un générateur de faisceau laser 31 et des moyens de contrôle de

faisceau 35 configurés pour moduler le profil en intensité du faisceau laser émis par le générateur de faisceau laser 31.

L'exemple du mode de réalisation de la figure 8b montre une source laser 3 comprenant un générateur de faisceau laser 31 et des moyens de contrôle de faisceau 35 configurés pour moduler le profil en intensité du faisceau laser émis par le générateur de faisceau laser 31. Les moyens de contrôle de faisceau 35 comprennent une fibre optique multimode 32, et un dispositif de projection de faisceau laser 33. La fibre optique multimode 32 comprend une entrée et une sortie. La fibre optique multimode 32 est configurée pour transporter un faisceau laser émis par le générateur de faisceau laser 31 entre l'entrée de la fibre optique multimode 32 jusqu'à sa sortie. La fibre optique multimode 32 a une section prédéterminée qui est constante entre son entrée et sa sortie. Le dispositif de projection de faisceau laser 33 est configuré pour projeter sur la pièce 2, une image de la sortie de ladite fibre optique multimode 32, et par conséquent, une image du faisceau laser transporté par la fibre optique multimode 32 dont son contour est défini par la section de sortie de la fibre optique multimode 32.

L'exemple du mode de réalisation de la figure 8c montre une source laser 3 comprenant un générateur de faisceau laser 31, des moyens de contrôle de faisceau 35 configurés pour moduler le profil en intensité du faisceau laser émis par le générateur de faisceau laser 31 et des moyens de focalisation 36.

[0115] La figure 9 montre un graphique représentant une distribution de l'intensité d'un faisceau laser transporté par la fibre optique multimode 32 et projeté par le dispositif de projection de faisceau laser 33 sur une surface externe 22 de la pièce 2 plane et perpendiculaire à la direction principale de propagation du faisceau lumineux collimaté. Ce graphique représente une distribution de l'intensité au niveau du diamètre 39 de l'image du faisceau laser sur la pièce 2. Ici, le diamètre 39 de l'image du faisceau laser sur la pièce 2 est d'approximativement 5 mm. L'image du faisceau laser présente une irradiation uniforme sur la quasi-totalité de la surface irradiée 23 de la pièce 2.

[0116] La figure 10a montre un mode de réalisation préféré du système pour le traitement thermique en volume d'une pièce 2 comprenant la source laser 3 montrée en figure 8. La source laser 3 montrée en figure 8 comprend un générateur de faisceau laser 31, une fibre optique multimode 32, et un dispositif

de projection de faisceau laser 33, dans lequel le dispositif de projection de faisceau laser 33 comprend un premier élément optique convergent 37 et un deuxième élément optique convergent 38. Le premier 37 et le deuxième 38 éléments optiques convergents sont de préférence des lentilles convergentes, de manière plus préférée des lentilles de type plan convexe. De manière encore plus préférée, la face convexe de la première lentille convergente plan convexe 37 fait face à la face convexe de la deuxième lentille convergente plan convexe 38. Le dispositif de projection de faisceau laser 33 permet de former une image ayant un diamètre 39 sur la pièce 2 supportée par les moyens de support 4. Le diamètre 39 est défini par la configuration du dispositif de projection de faisceau laser 33 (puissance des lentilles 37, 38 et leurs positionnements relatifs entre elles et par rapport à la sortie de la fibre optique multimode 32) et par la section de la fibre optique multimode 32 (à sa sortie). Lorsque la sortie de la fibre optique multimode 32 est imagée par le dispositif de projection de faisceau laser 33, et que le générateur de faisceau laser 31 émet un faisceau laser qui est transporté par la fibre optique multimode 32, alors, l'image de la sortie de la fibre optique multimode correspond à un spot lumineux de diamètre 39.

[0117] La figure 10b montre le mode de réalisation de la figure 10a pour une pièce 2 de plus grande taille pour laquelle il est nécessaire d'augmenter le diamètre 39 de l'image de la sortie de fibre optique multimode 32 sur la pièce 2 afin de pouvoir réaliser un traitement thermique avec des gradients thermique en surface 22 de la pièce 2 les plus réduits possible. Le dispositif de projection de faisceau laser 33 permet de moduler un tel diamètre 39 de l'image de la sortie de fibre optique multimode 32 sur la pièce 2 en modifiant la position relative de la première lentille convergente 37 par rapport à la sortie de la fibre optique multimode 32 et/ou la position de la deuxième lentille convergente 38 par rapport à la première lentille convergente 37. Une telle modulation permet d'obtenir des grandissements permettant une adaptation à des pièces ayant des tailles pouvant varier fortement. Préférentiellement, la première lentille convergente 37 est pilotée en position entre la sortie de la fibre optique multimode 32 et la deuxième lentille convergente 38 de sorte à ajuster la taille du faisceau laser sur la pièce 2.

[0118] La présente invention a été décrite en relation avec des modes de réalisations spécifiques, qui ont une valeur purement illustrative et ne doivent pas être considérés comme limitatifs. D'une manière générale, la présente invention n'est pas limitée aux exemples illustrés et/ou décrits ci-dessus. L'usage des verbes « comprendre », « inclure », « comporter », ou toute autre variante, ainsi que leurs conjugaisons, ne peut en aucune façon exclure la présence d'éléments autres que ceux mentionnés. L'usage de l'article indéfini « un », « une », ou de l'article défini « le », « la » ou « l' », pour introduire un élément n'exclut pas la présence d'une pluralité de ces éléments. Les numéros de référence dans les revendications ne limitent pas leur portée.

[0119] En résumé, l'invention peut également être décrite comme suit.
Procédé de traitement thermique en volume d'une pièce 2 ayant une surface externe 22 délimitant son volume,
le procédé comprenant les étapes suivantes :

- a. fournir une source laser 3 ;
- b. fournir la pièce 2 ;
- c. fournir des moyens de support 4 pour supporter la pièce 2 avec un degré d'isolation thermique entre eux et ladite pièce 2 ;
- d. placer ladite pièce 2 de sorte qu'elle soit maintenue en position par lesdits moyens de support 4 ;
- e. irradier avec ladite source laser 3 au moins une portion 23 de la surface externe 22 de ladite pièce 2 avec une puissance et une durée d'exposition laser pour obtenir une élévation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce 2.

Revendications

1. Procédé de traitement thermique en volume d'une pièce (2) ayant une surface externe (22) délimitant son volume,
le procédé comprenant les étapes suivantes :
 - 5 a. fournir une source laser (3) ;
 - b. fournir la pièce (2) ;
 - c. fournir des moyens de support (4) pour supporter la pièce (2);
 - d. placer ladite pièce (2) de sorte qu'elle soit maintenue en position par lesdits moyens de support (4) ;
 - 10 e. irradier avec ladite source laser (3) au moins une portion (23) de la surface externe (22) de ladite pièce (2) avec une puissance et une durée d'exposition laser pour obtenir une élévation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce (2).
- 15 2. Procédé selon la revendication précédente comprenant en outre, après l'étape e., l'étape suivante :
 - f. stopper l'irradiation de l'étape e. pour refroidir la pièce (2).
- 20 3. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce qu'il s'agit d'un procédé de trempe en volume de ladite pièce (2), en ce que l'étape e. permet d'induire une modification de structure du matériau constituant la pièce (2), et en ce que l'étape f. est apte à figer le matériau constituant la pièce (2) dans une structure différente de celle qu'il présentait avant l'irradiation de l'étape e.
25
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que l'irradiation de l'étape e. est apte à imposer une température essentiellement homogène dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce (22).
30
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que ladite source laser (3) est configurée pour émettre un faisceau lumineux collimaté, et irradier lors de l'étape e. ladite au moins une portion

(23) de la surface externe (22) de ladite pièce (2) avec ledit faisceau lumineux collimaté.

- 5 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que l'étape f. comprend en outre une action de diriger un fluide en direction de la pièce (2) pour la refroidir par convection.
- 10 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend en outre une action d'exposer la pièce (2) à un gaz de traitement pour modifier sa surface externe (22).
- 15 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdits moyens de support (4) présentent une surface de support plane pour supporter la pièce (2).
- 20 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdits moyens de support (4) comprennent un matériau réfractaire.
- 25 10. Procédé selon l'une quelconque des revendication précédente caractérisé en ce que lesdits moyens de support (4) comprennent un matériau ayant une conductivité thermique inférieure à $20 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de préférence inférieure à $10 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de manière encore plus préférée inférieure à $5 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.
- 30 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il existe une surface de contact entre ladite pièce (2) et lesdits moyens de support (4), ladite surface de contact ayant une aire inférieure à 10 % de l'aire de ladite surface externe (22), de préférence inférieure à 2 %, de manière encore plus préférée inférieure à 1 %.
- 35 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que ladite pièce (2) est constituée d'un matériau ayant une conductivité thermique supérieure à $10 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de préférence supérieure à $35 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ et de manière encore plus préférée supérieure à $50 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que le volume de la pièce (2) est compris entre $0,01 \text{ mm}^3$ et 5 cm^3 , de préférence compris entre $0,1 \text{ mm}^3$ et 500 mm^3 , et de manière encore plus préférée entre 1 mm^3 et 100 mm^3 .
- 5 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que la pièce (2) présente une surface spécifique comprise entre $0,01 \text{ mm}^{-1}$ et 150 mm^{-1} , de préférence comprise entre $0,1 \text{ mm}^{-1}$ et 100 mm^{-1} , de manière encore plus préférée comprise entre 1 mm^{-1} et 10 mm^{-1} .
- 10 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que :
- ladite surface externe (22) consiste en une première (23) et une deuxième (28) portions de surface externe (22), et en ce que
 - 15 - l'étape e. consiste à irradier uniquement ladite première portion (23) de surface externe (22) avec une puissance et une durée d'exposition laser pour avoir une température sensiblement égale entre les première (23) et deuxième (28) portions de surface externe (22).
- 20 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications des revendications 1 à 14 caractérisé en ce que :
- ladite surface externe (22) comprend une première (23) et une deuxième (28) portions de surface externe (22), et en ce que
 - 25 - l'étape e. consiste à irradier lesdites première (23) et deuxième (28) portions de surface externe (22).
- 30 17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que l'étape e. consiste à irradier au moins une portion de la surface externe (22) de ladite pièce (2) pendant une durée d'exposition inférieure ou égale à 10 s, de préférence inférieure ou égale à 8 s, de manière encore plus préférée inférieure ou égale à 5 s.
18. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que la source laser (3) est une source laser continue ou à impulsions

de durées supérieures à 1 ms ou à impulsions de durées comprises entre 20 et 30 ms.

- 5 19. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que l'étape e. consiste à irradier au moins une portion de la surface externe (22) de ladite pièce (2) avec un faisceau laser d'une puissance inférieure à 100 W, de préférence inférieure à 50 W, de manière encore plus préférée inférieure à 10 W.
- 10 20. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que ladite source laser (3) est apte à fournir un faisceau laser modulé en intensité et en ce que l'étape e. consiste à irradier au moins une portion de la surface externe (22) de ladite pièce (2) avec une puissance d'irradiation qui diminue dans le temps pendant l'étape e.
- 15 21. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que ladite source laser (3) comprend :
- un générateur de faisceau laser (31),
 - des moyens de contrôle de faisceau (35) configurés pour moduler le
- 20 profil en intensité dudit faisceau laser émis par ledit générateur de faisceau laser (31).
22. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle de faisceau (35) comprennent :
- 25 - une fibre optique (32) comprenant une entrée et une sortie, apte à véhiculer un faisceau laser émis par ledit générateur de faisceau laser (31) entre ladite entrée et ladite sortie, de préférence, la fibre optique est multimode ;
 - un dispositif de projection de faisceau laser (33) configuré pour projeter
- 30 sur ladite pièce (2), une image du faisceau laser à sa sortie de ladite fibre optique (32).

23. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que le dispositif de projection de faisceau laser (33) est configuré pour projeter ladite image dudit faisceau laser sur ladite pièce (2) avec un faisceau laser collimaté.

5 24. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que le dispositif de projection de faisceau laser (33) est apte à ajuster un grandissement entre la section prédéterminée de fibre optique multimode prise à ladite sortie et ladite image du faisceau laser lorsque celle-ci est projetée sur ladite pièce (2).

10

25. Procédé selon la revendication 21 caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle de faisceau (35) comprennent :

15 - une lentille ménisque configurée pour modifier le diamètre dudit faisceau laser émis par ledit générateur de faisceau laser (31) en un faisceau laser modifié collimaté.

26. Procédé selon la revendication 21 caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle de faisceau (35) comprennent :

20 - un élément optique ayant une surface optique asphérique ou une surface optique apte à induire un décalage de phase.

27. Procédé selon la revendication 21 caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle de faisceau (35) comprennent :

25 - un élément optique de diffraction.

28. Procédé selon l'une quelconque des revendications 21 à 27 caractérisé en ce que ladite source laser (3) comprend en outre des moyens de focalisation (36) de faisceau positionnés entre lesdits moyens de contrôle de faisceau (35) et ladite pièce (2).

30

29. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il s'agit d'un procédé de trempe précédé d'un recuit et en ce qu'il comprend en outre les étapes additionnelles suivantes avant l'étape a. :

- g. irradier avec ladite source laser (3) au moins une portion (23) de la surface externe (22) de ladite pièce (2) avec une puissance d'exposition de laser de recuit qui est moindre que la puissance d'exposition laser utilisée lors de l'étape e. ;
- 5 h. refroidir la pièce après l'avoir chauffée à une température de recuit lors de l'étape précédente à une température inférieure à 100 °C, de préférence à température ambiante.
- 10 30. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il s'agit d'un procédé de trempe suivi d'un revenu et en ce qu'il comprend en outre les étapes additionnelles suivantes, après l'étape f. :
- 15 i. irradier avec ladite source laser (3) au moins une portion (23) de la surface externe (22) de ladite pièce (2) avec une puissance d'exposition laser de revenu qui est moindre que la puissance d'exposition laser utilisée lors de l'étape e. pour la trempe.
31. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes additionnelles suivantes :
- 20 j. fournir une chambre à vide et insérer ladite pièce (2) à l'intérieur de ladite chambre à vide ;
- k. réaliser un vide partiel dans ladite chambre à vide enfermant ladite pièce (2) inférieur à 50000 Pa, de préférence inférieur à 10000 Pa et de manière encore plus préférée inférieur à 5000 Pa.
- 25 32. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 31 caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes additionnelles suivantes :
- l. fournir un échangeur thermique (18) ;
- m. mettre en contact ladite pièce (2) avec ledit échangeur thermique (18) pendant l'étape f..
- 30 33. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 32 caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes additionnelles suivantes :
- n. fournir un bain de liquide (19) ;

o. immerger partiellement ladite pièce (2) dans ledit bain de liquide (19) pendant l'étape f., de préférence immerger entièrement ladite pièce (2).

5 34. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que le matériau constituant au moins partiellement ladite pièce (2) est un matériau métallique.

10 35. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que le matériau métallique constituant au moins partiellement ladite pièce (2) est un acier au carbone, de préférence un acier comprenant 1% de carbone en poids.

36. Système pour le traitement thermique en volume d'une pièce (2) ayant une surface externe (22) délimitant son volume, ledit système comprenant :
15 - une source laser (3) configurée pour irradier au moins une portion (23) de la surface externe (22) de ladite pièce (2) avec une puissance et une durée d'exposition laser pour obtenir une élévation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce (2) pour induire une modification de structure du matériau constituant la pièce (2);
20 - des moyens de support (4) pour supporter ladite pièce (2) avec un degré d'isolation thermique entre eux et ladite pièce (2).

37. Système selon la revendication précédente caractérisé en ce que la source laser (3) est une source laser continue, ou à impulsions de durées supérieures à 1 ms, ou à impulsions de durées comprises entre 20 et 30 ms.

25

38. Système selon l'une quelconque des deux revendications précédentes caractérisé en ce que ladite élévation de température est une élévation de température supérieure à 200 °C, de préférence supérieure à 400 °C, de manière préférée supérieure à 700 °C, de manière encore plus préférée
30 supérieure à 850 °C.

39. Système selon l'une quelconque des trois revendications précédentes caractérisé en ce que ladite élévation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce (2) est une élévation de température dans

au moins 80%, de préférence au moins 90%, de manière préférée 95%, de manière encore plus préférée 99% du volume de la pièce (2).

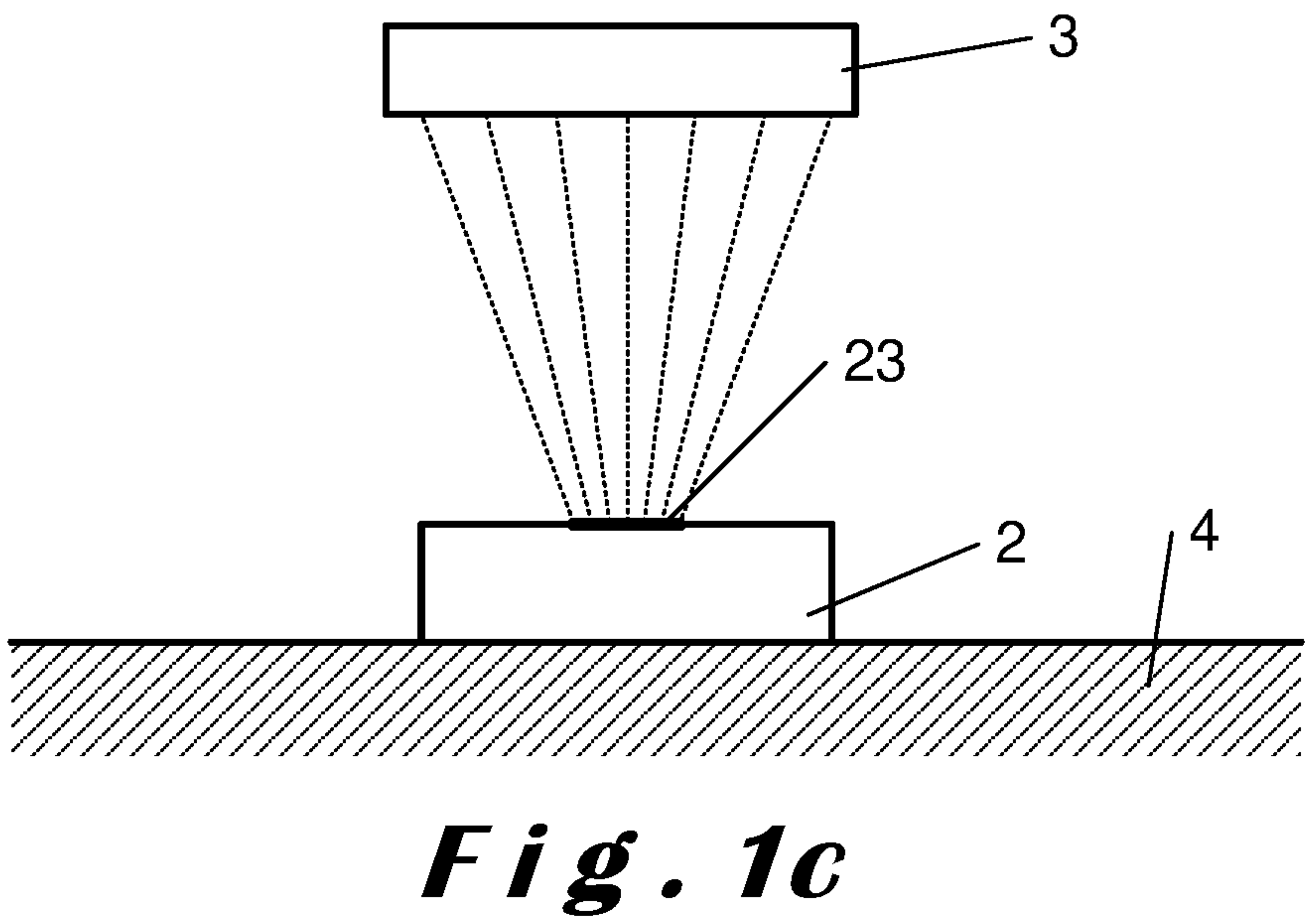
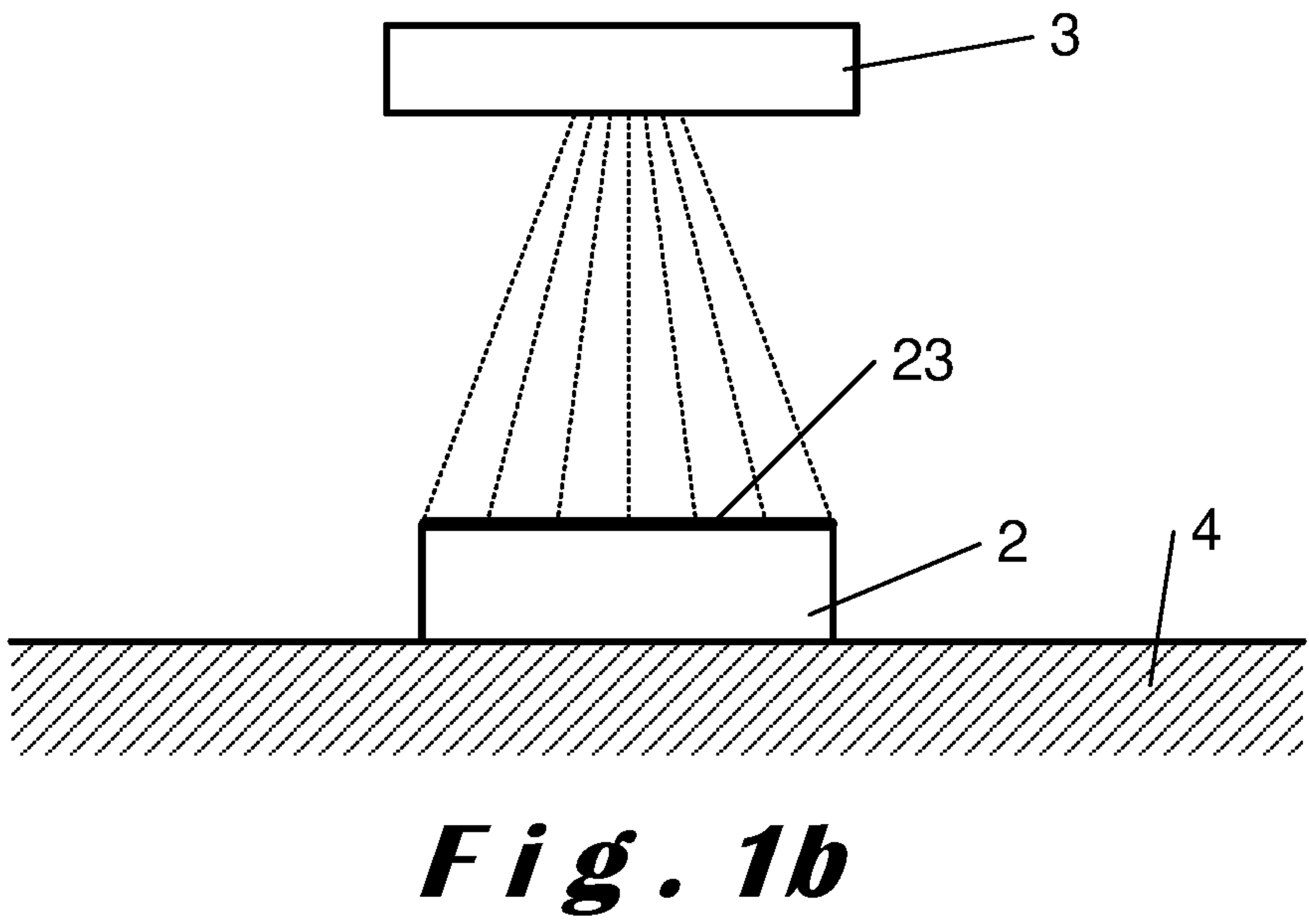
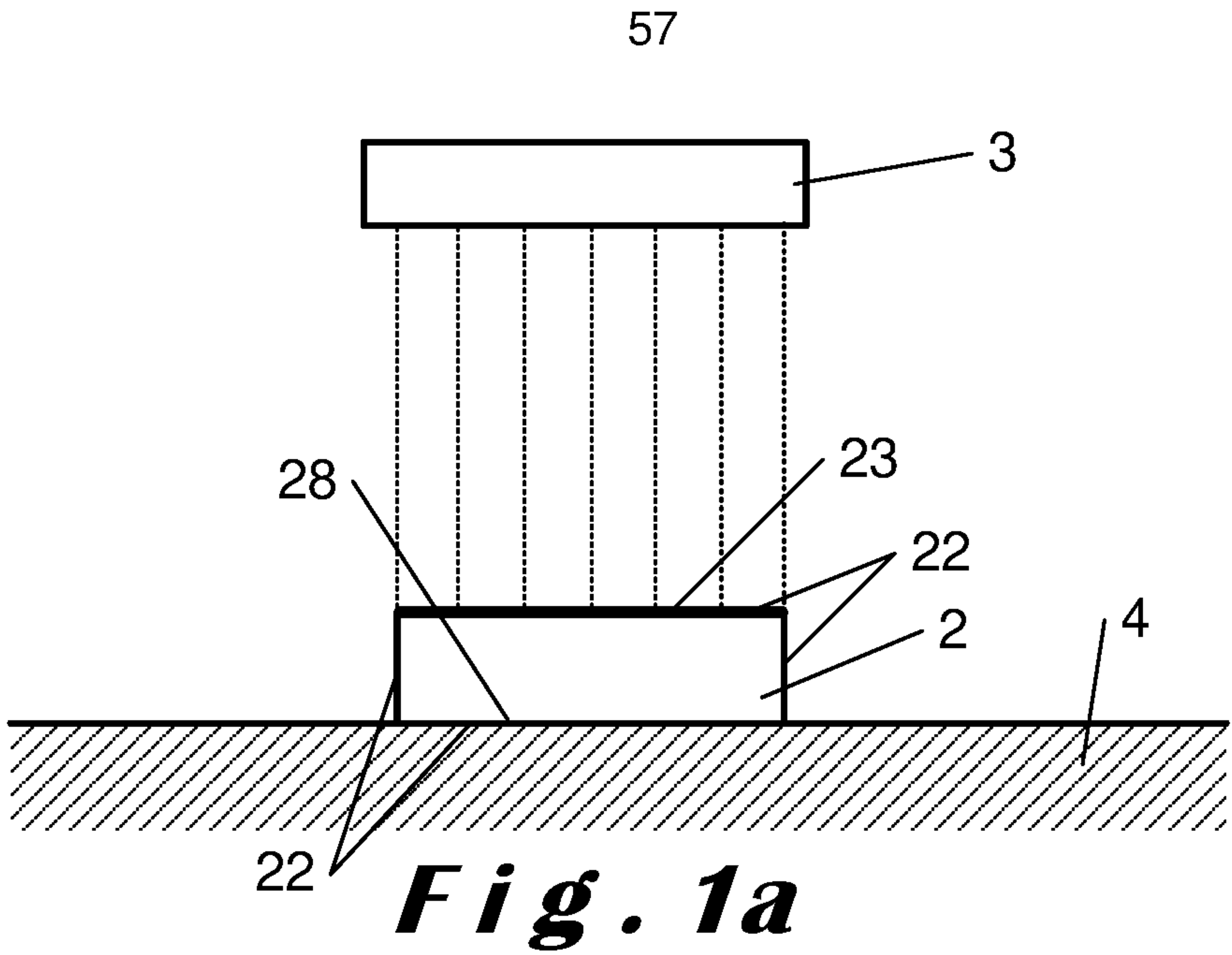
- 5 40. Système selon l'une quelconque des quatre revendications précédentes caractérisé en ce que les moyens de support (4) présentent une surface de support pour entrer en contact avec la pièce (2), ladite surface de support ayant une aire inférieure à 10 % de ladite surface externe (22) de ladite pièce (2), de préférence inférieure à 5 %, de manière encore plus préférée inférieure à 1% de ladite surface externe (22) de ladite pièce (2).
- 10 41. Système selon l'une quelconque des cinq revendications précédentes caractérisé en ce que lesdits moyens de support (4) comprennent d'un matériau réfractaire.
- 15 42. Système selon l'une quelconque des six revendications précédentes caractérisé en ce que lesdits moyens de support (4) présentent une surface de support plane pour supporter la pièce (2).
- 20 43. Système selon l'une quelconque des sept revendications précédentes caractérisé en ce que lesdits moyens de support (4) ont une conductivité thermique inférieure à $20 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de préférence inférieure à $10 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de manière encore plus préférée a $5 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.
- 25 44. Système selon l'une quelconque des huit revendications précédentes caractérisé en ce que ladite pièce (2) est constitué d'un matériau ayant une conductivité thermique supérieure à $15 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, de préférence supérieure à $35 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ et de manière encore plus préférée supérieure à $50 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.
- 30 45. Système selon l'une quelconque des neuf revendications précédentes caractérisé en ce que le volume de la pièce (2) est compris entre $0,01 \text{ mm}^3$ et 1 cm^3 , de préférence compris entre $0,1 \text{ mm}^3$ et 500 mm^3 , et de manière encore plus préférée entre 1 mm^3 et 100 mm^3 .

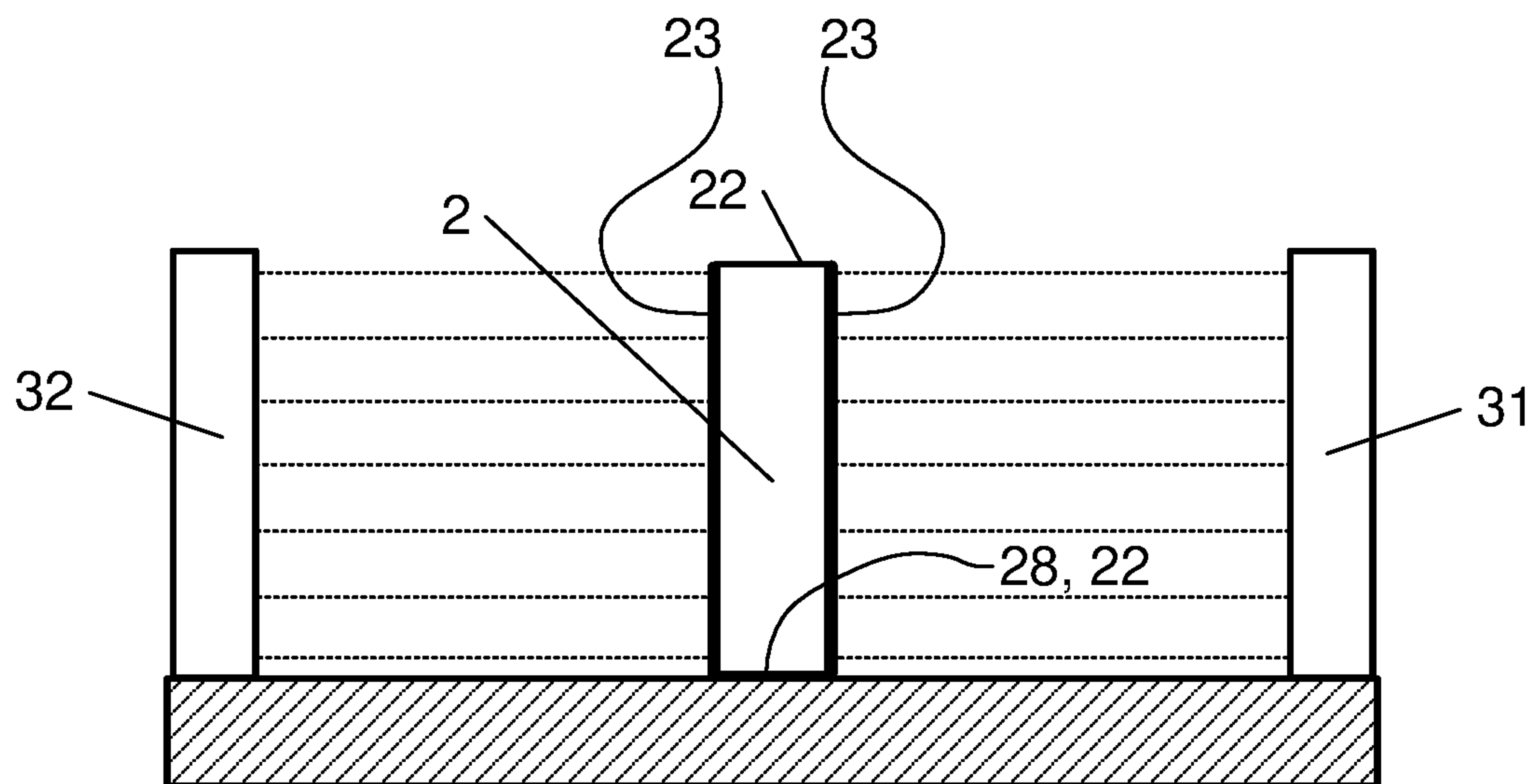
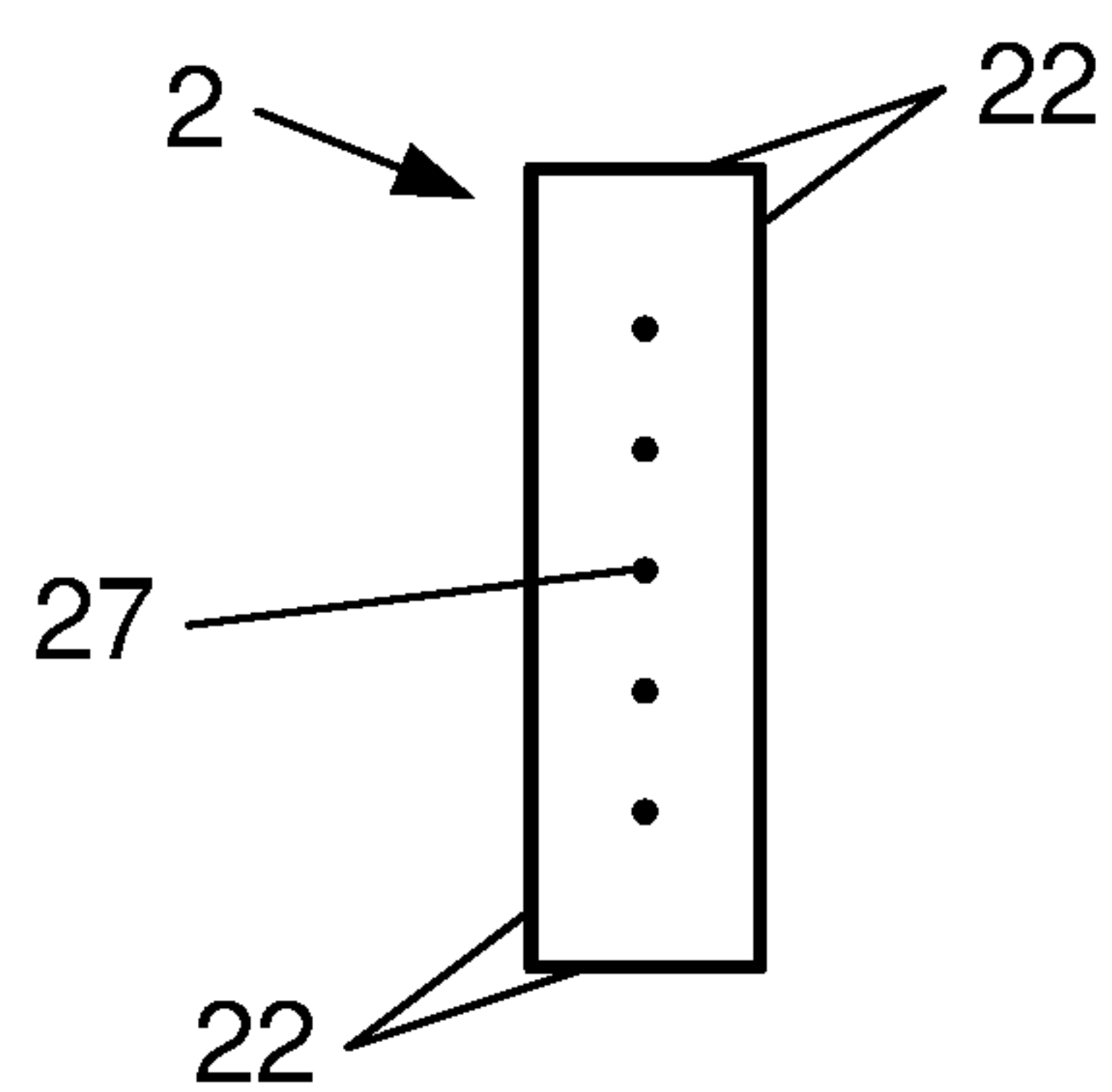
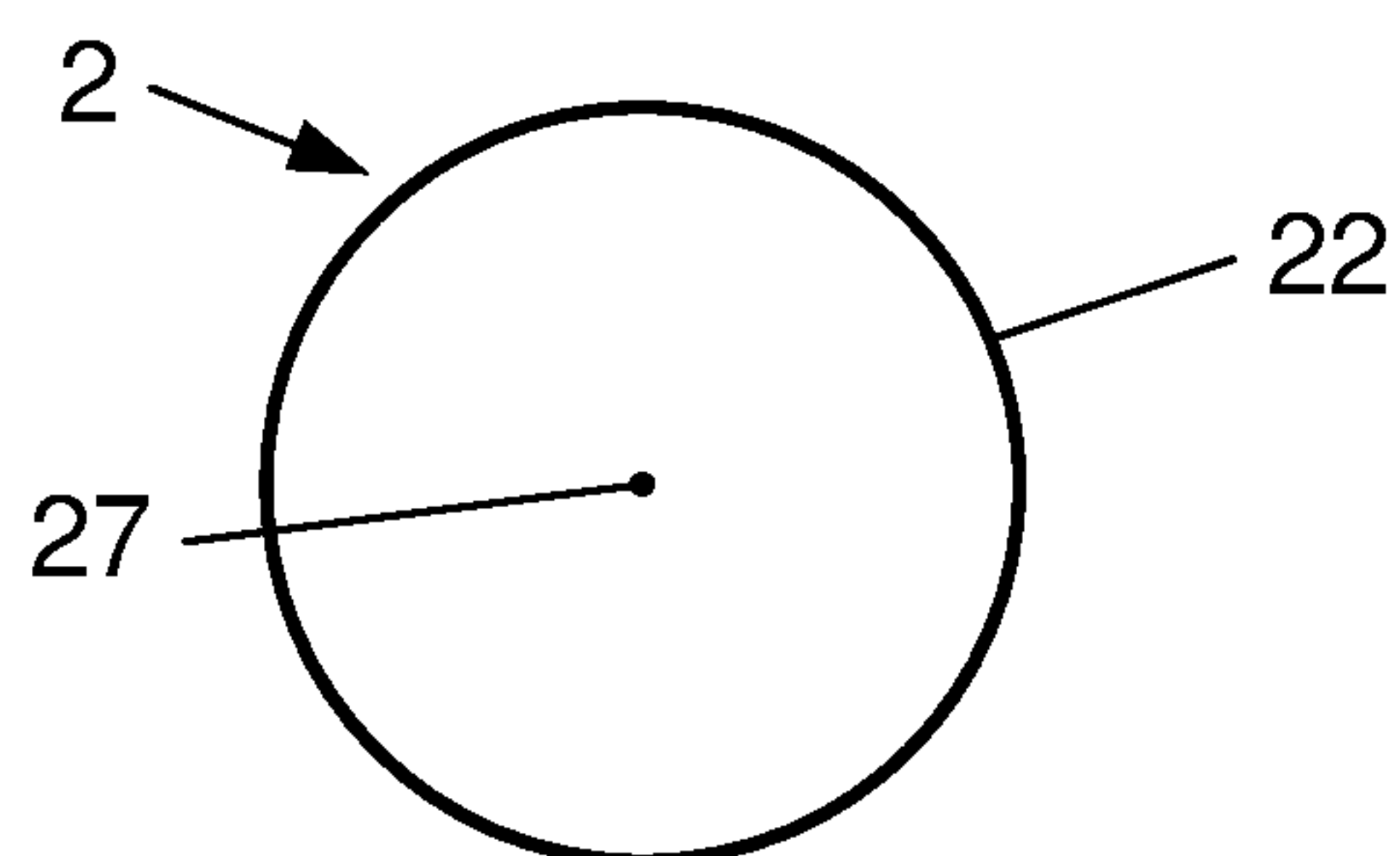
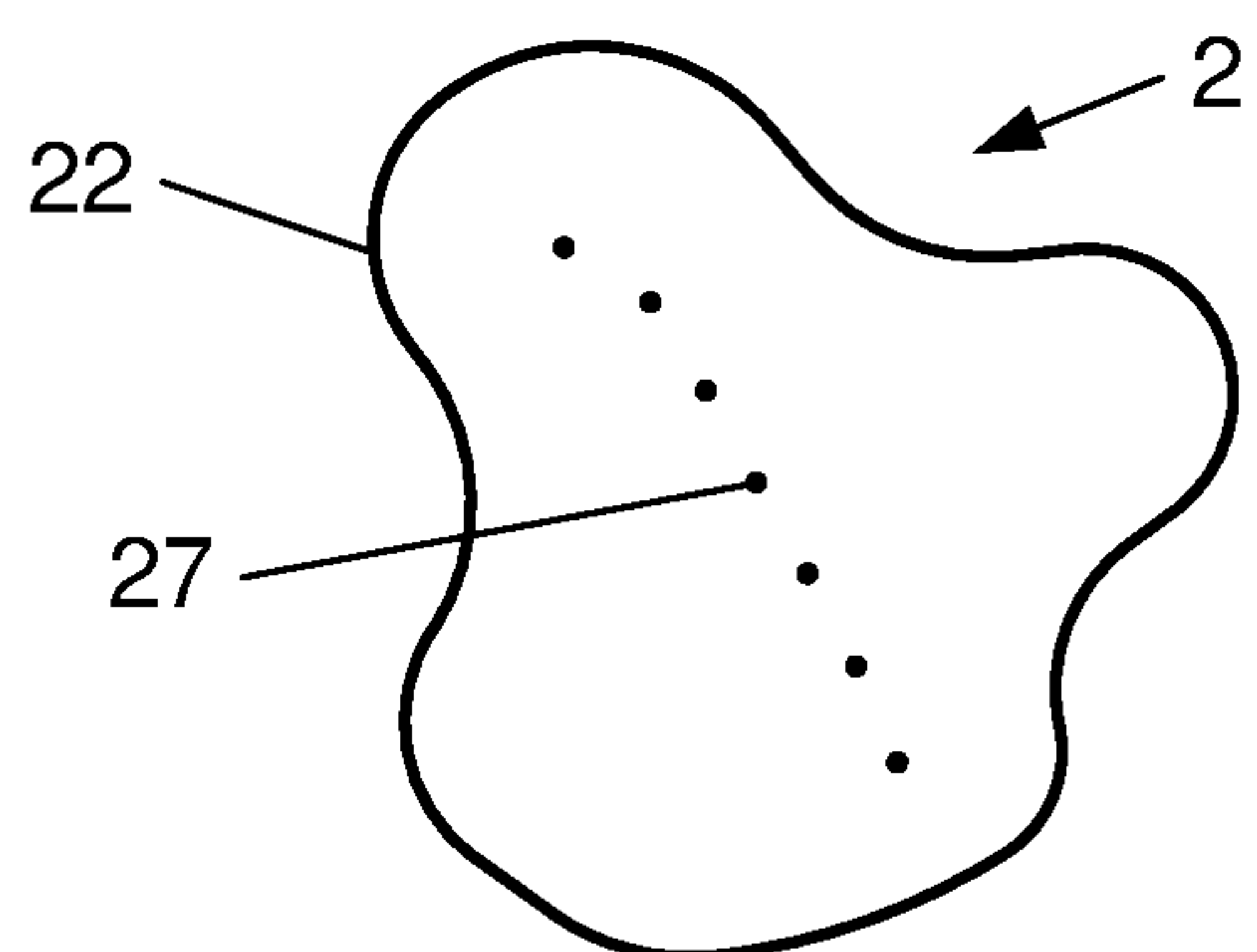
46. Système selon l'une quelconque des dix revendications précédentes caractérisé en ce que ladite source laser (3) est configurée pour irradier ladite portion (23) de surface externe (22) d'une pièce (2) avec un faisceau laser d'une puissance inférieure à 100 W, de préférence inférieure à 50 W, de manière encore plus préférée inférieure à 10 W.
47. Système selon l'une quelconque des onze revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend en outre une fibre optique et en ce qu'il est conçu de sorte qu'un faisceau laser issu de ladite source laser (3) est apte à atteindre par l'intermédiaire de ladite fibre optique au moins une portion (23) de surface externe (22) d'une pièce (2) supportée par les moyens de support (4).
48. Système selon l'une quelconque des douze revendications précédentes caractérisé en ce que ladite source laser (3) comprend :
- un générateur de faisceau laser (31),
 - des moyens de contrôle de faisceau (35) configurés pour moduler le profil en intensité dudit faisceau laser émis par ledit générateur de faisceau laser (31).
49. Système selon la revendication précédente caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle de faisceau (35) comprennent :
- une fibre optique (32) de section prédéterminée comprenant une entrée et une sortie, apte à transporter un faisceau laser émis par ledit générateur de faisceau laser (31) entre son entrée et sa sortie, de préférence, la fibre optique est multimode ;
 - un dispositif de projection de faisceau laser (33) apte à projeter sur ladite pièce (2), une image du faisceau laser à sa sortie de ladite fibre optique multimode (32).
50. Système selon la revendication précédente caractérisé en ce que le dispositif de projection de faisceau laser (33) est configuré pour projeter ladite image dudit faisceau laser sur ladite pièce (2) avec un faisceau laser collimaté.

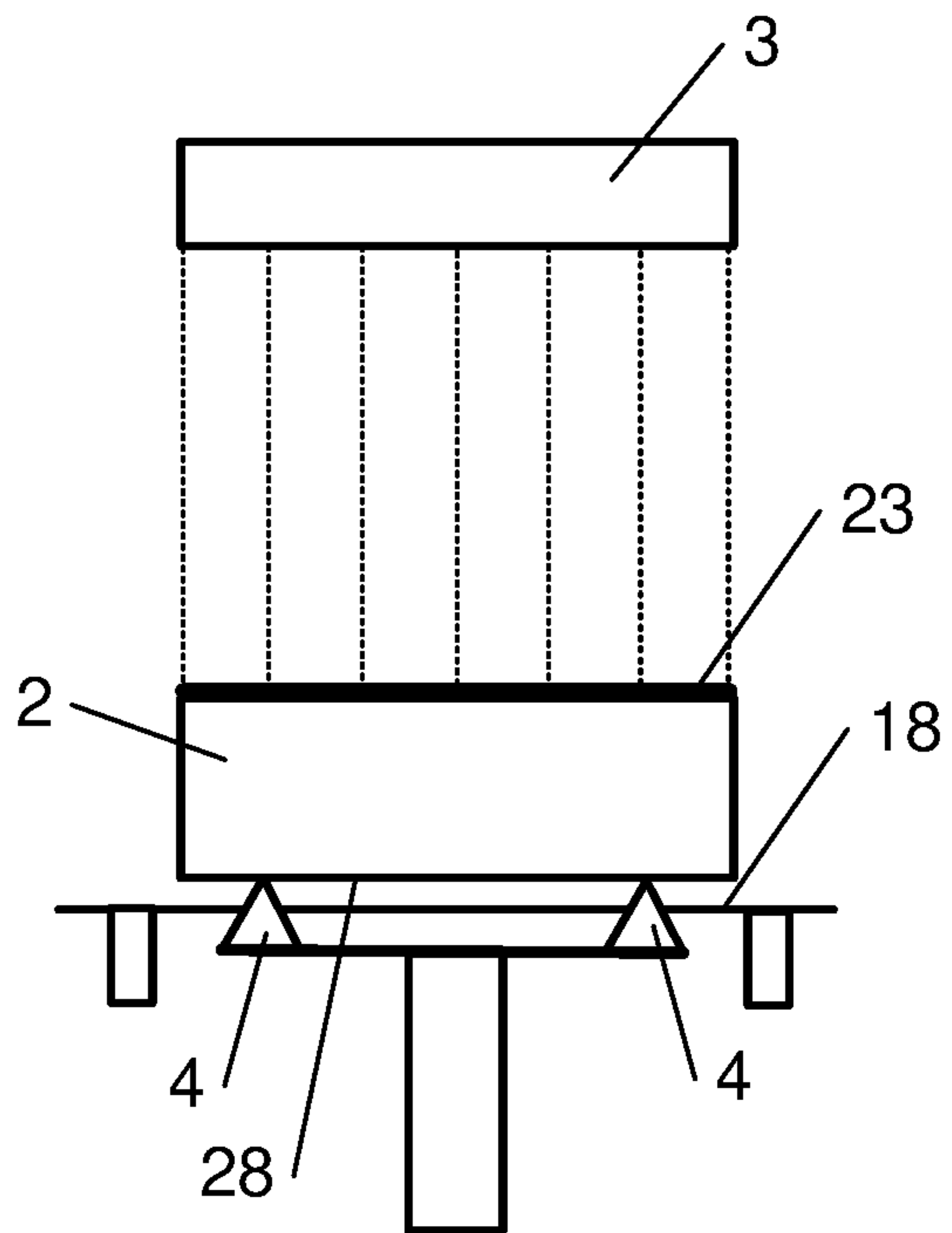
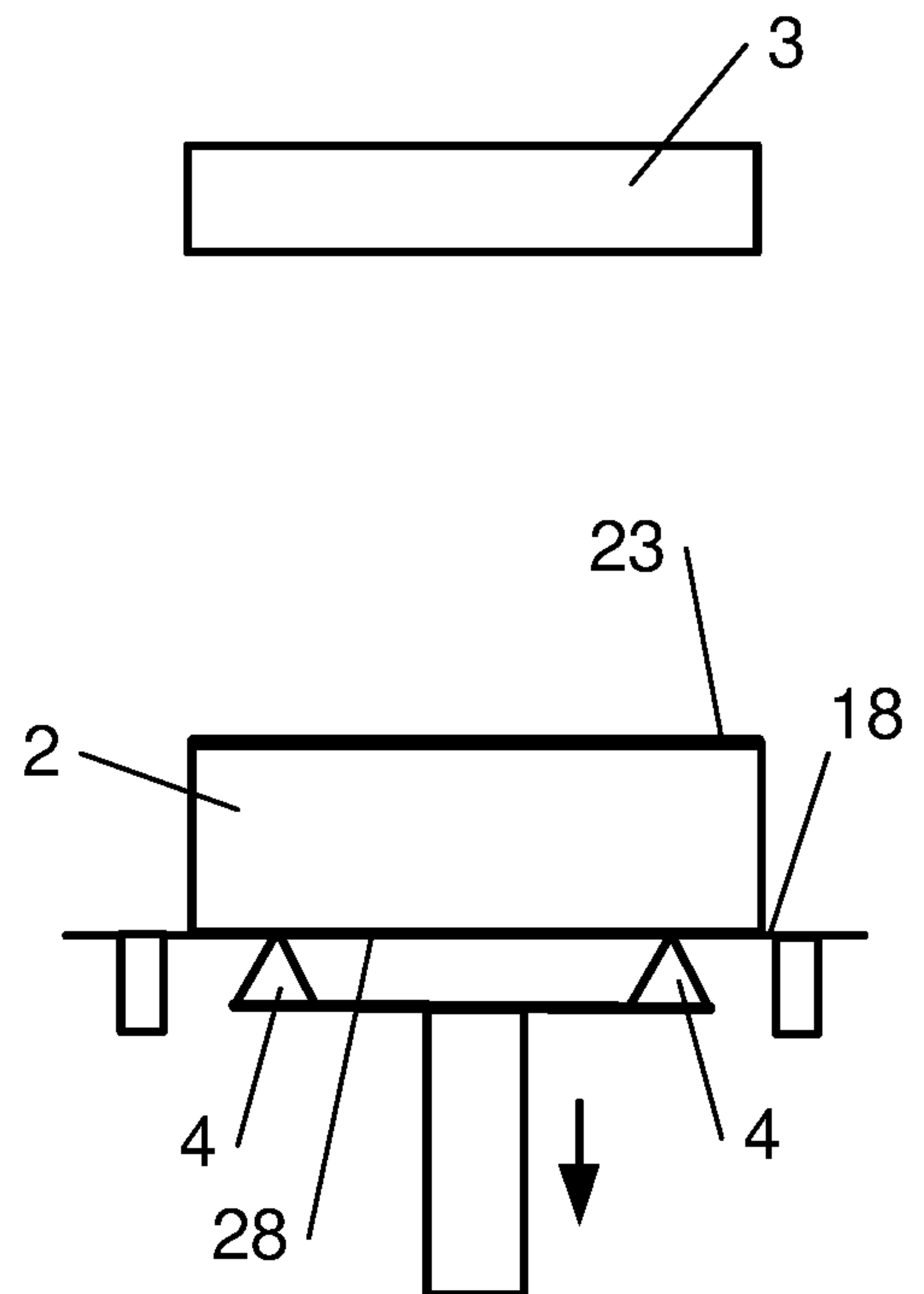
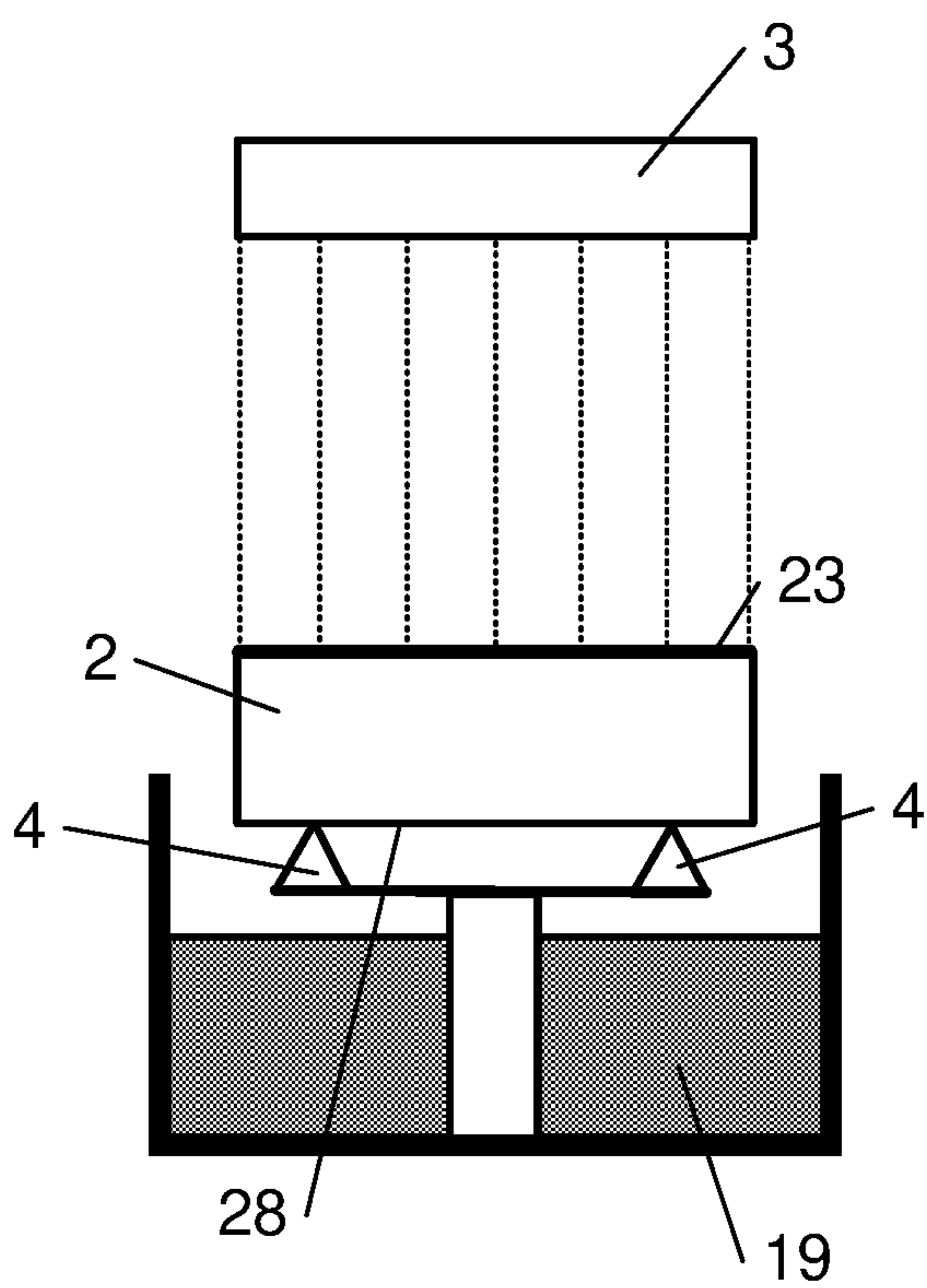
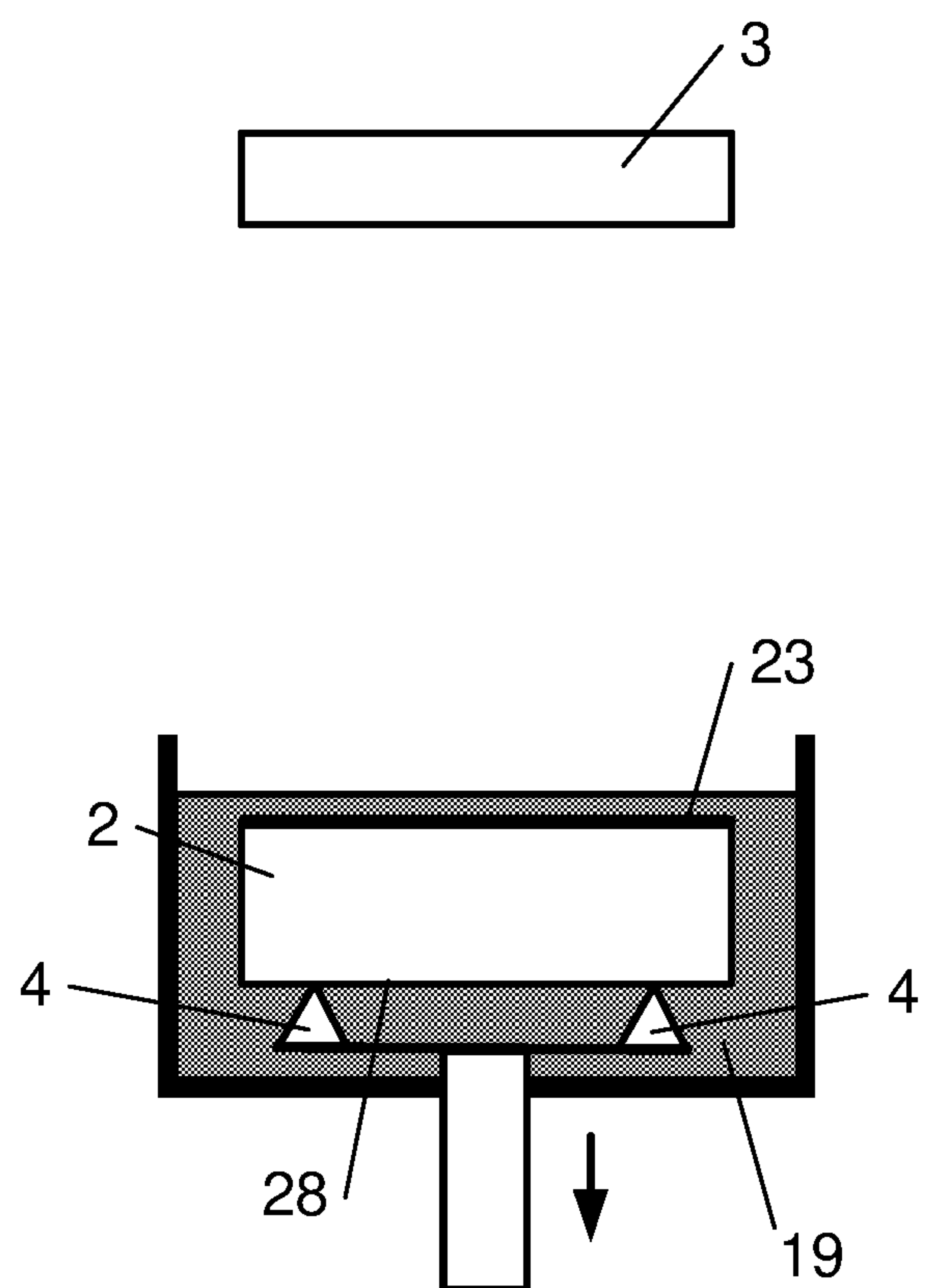
51. Système selon la revendication précédente caractérisé en ce que le dispositif de projection de faisceau laser (33) est apte à ajuster un grandissement entre la section prédéterminée de fibre optique multimode prise à ladite sortie et ladite image du faisceau laser lorsque celle-ci est projetée sur ladite pièce (2).
52. Système selon la revendication 48 caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle de faisceau (35) comprennent :
- 10 - une lentille ménisque configurée pour modifier le diamètre dudit faisceau laser émis par ledit générateur de faisceau laser (31) en un faisceau laser modifié collimaté.
53. Système selon la revendication 48 caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle de faisceau (35) comprennent :
- 15 - un élément optique ayant une surface optique asphérique ou une surface optique apte à induire un décalage de phase.
54. Système selon la revendication 48 caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle de faisceau (35) comprennent :
- 20 - un élément optique de diffraction.
55. Système selon l'une quelconque des revendications 28 à 54 caractérisé en ce que ladite source laser (3) comprend en outre des moyens de focalisation (36) de faisceau positionnés entre lesdits moyens de contrôle de faisceau (35) et ladite pièce (2).
- 25
56. Système selon l'une quelconque des revendications 49 à 51 caractérisé en ce que la fibre optique multimode (32) a une longueur comprise entre 1 m et 12 m, de préférence une longueur comprise entre 2 m et 8 m.
- 30
57. Système selon l'une quelconque des vingt-et-une revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend en outre un scanner pour

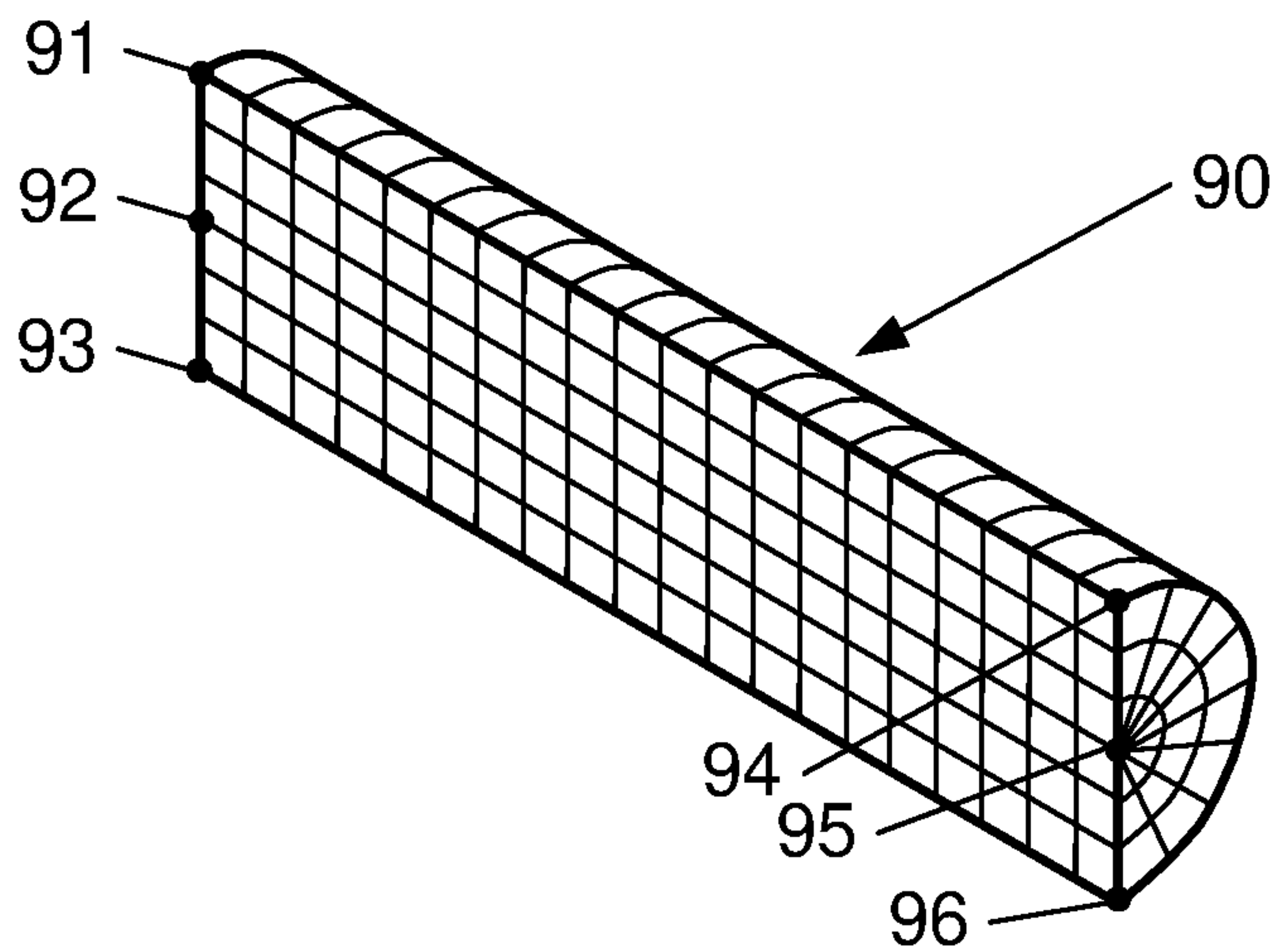
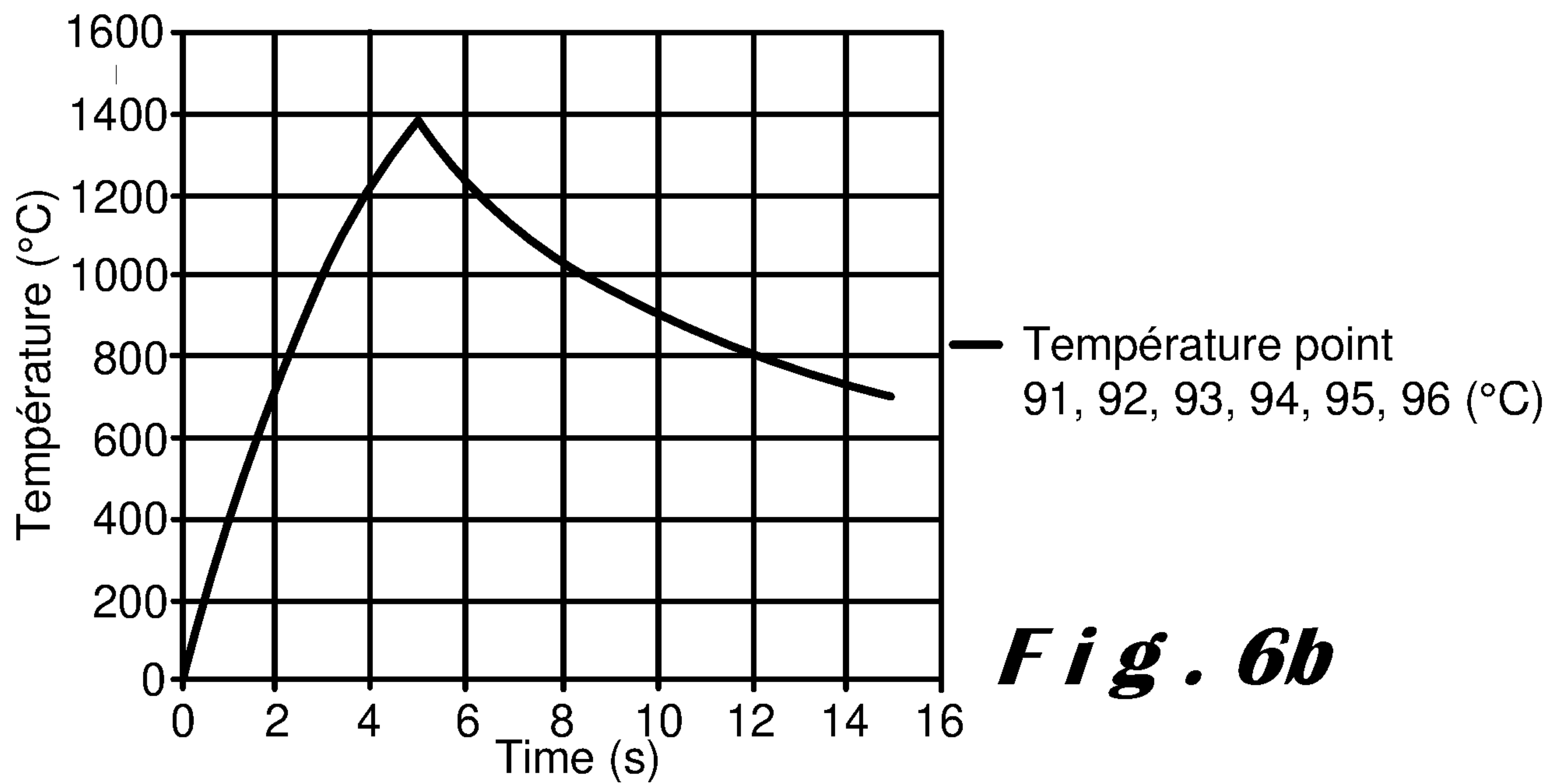
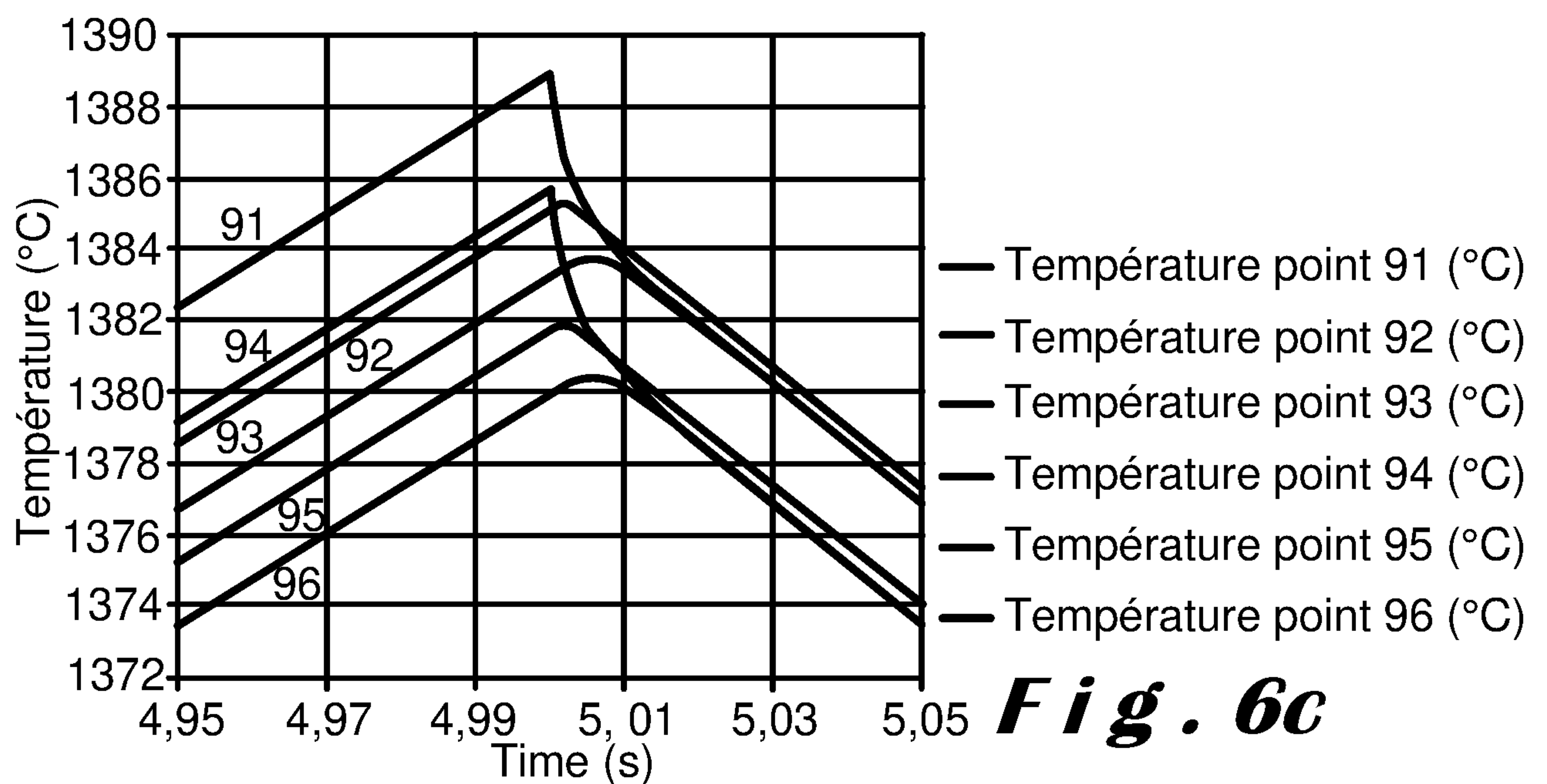
pouvoir diriger un faisceau laser issu de la source laser (3) sur différentes pièces (2) à tremper en volume.

58. Système selon l'une quelconque des vingt-deux revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend en outre un capteur de température, de préférence un pyromètre, pour mesurer une température de la pièce (2).



***Fig. 2******Fig. 3a******Fig. 3b******Fig. 3c***

***Fig. 4a******Fig. 4b******Fig. 5a******Fig. 5b***

**Fig. 6a****Fig. 6b****Fig. 6c**

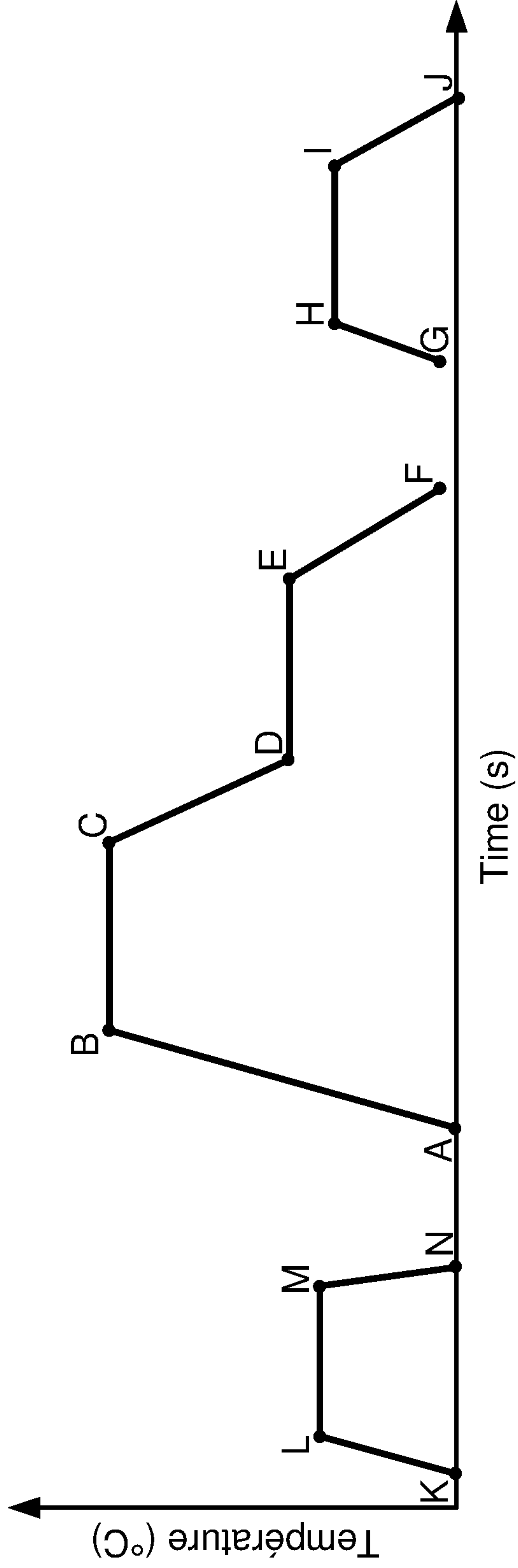


Fig. 7

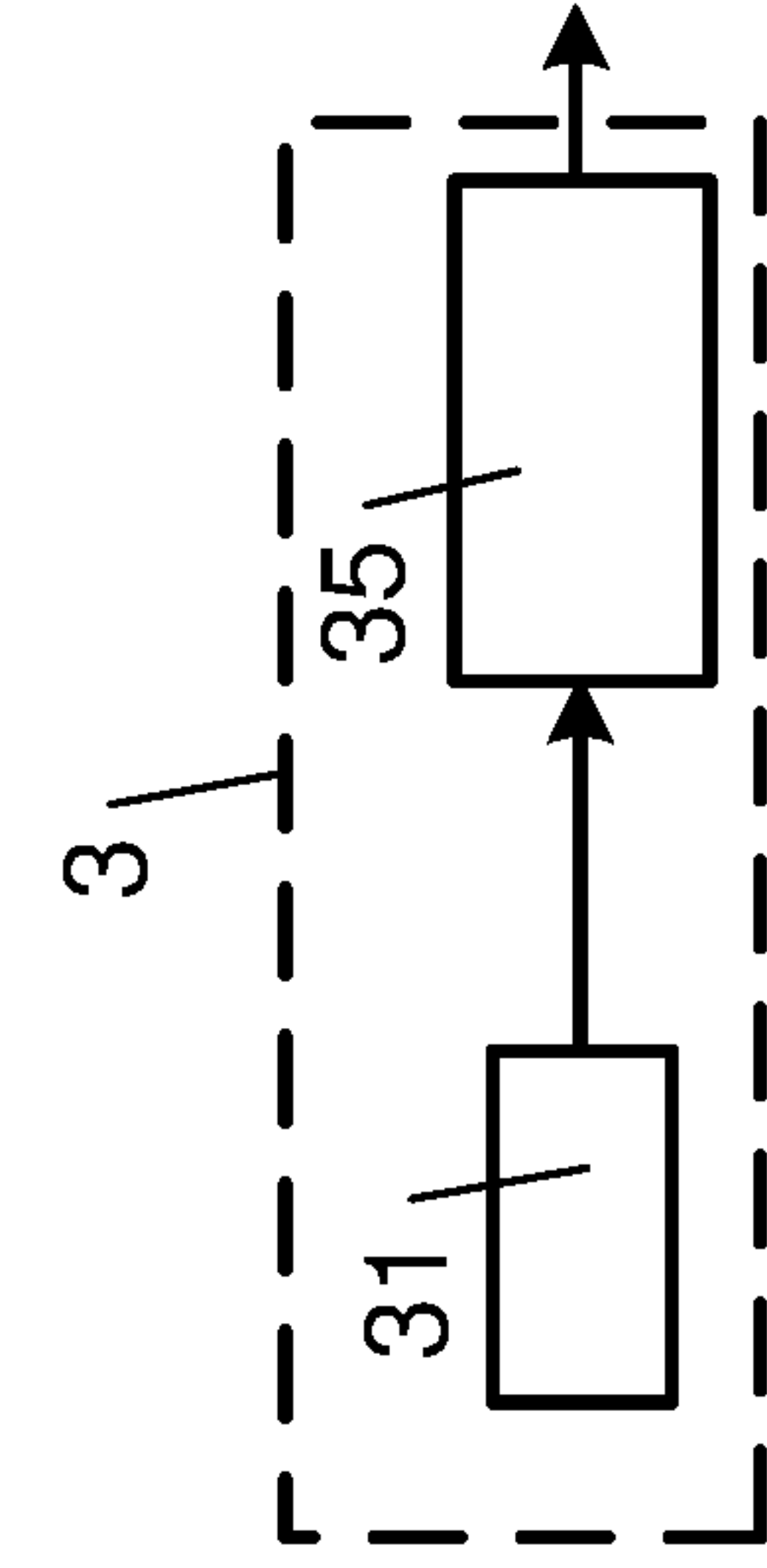


Fig. 8a

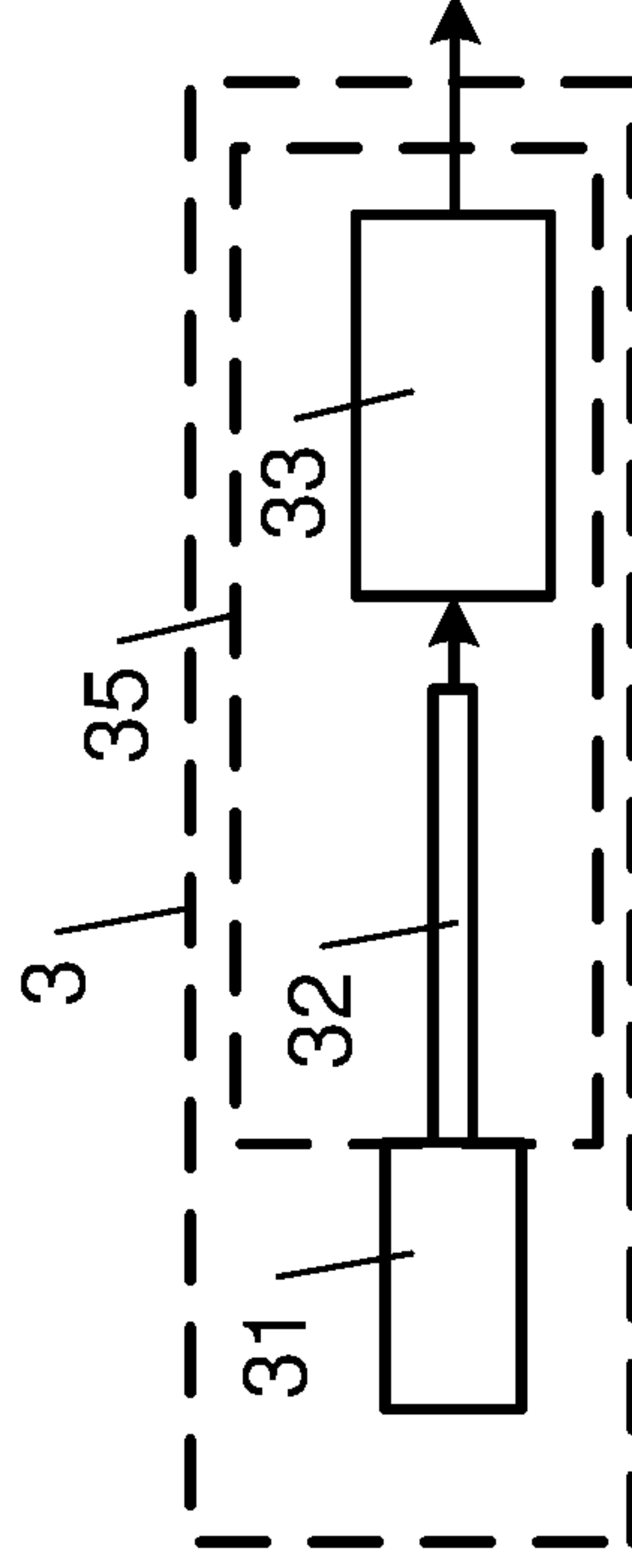


Fig. 8b

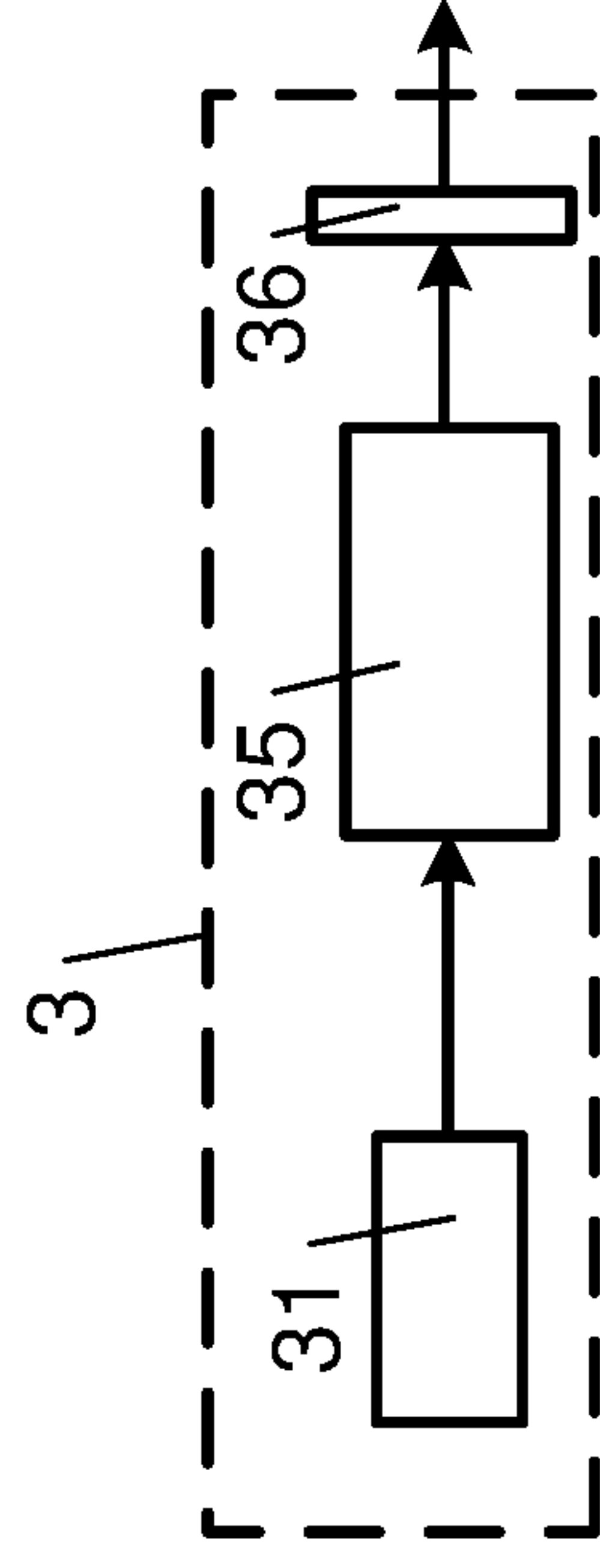


Fig. 8c

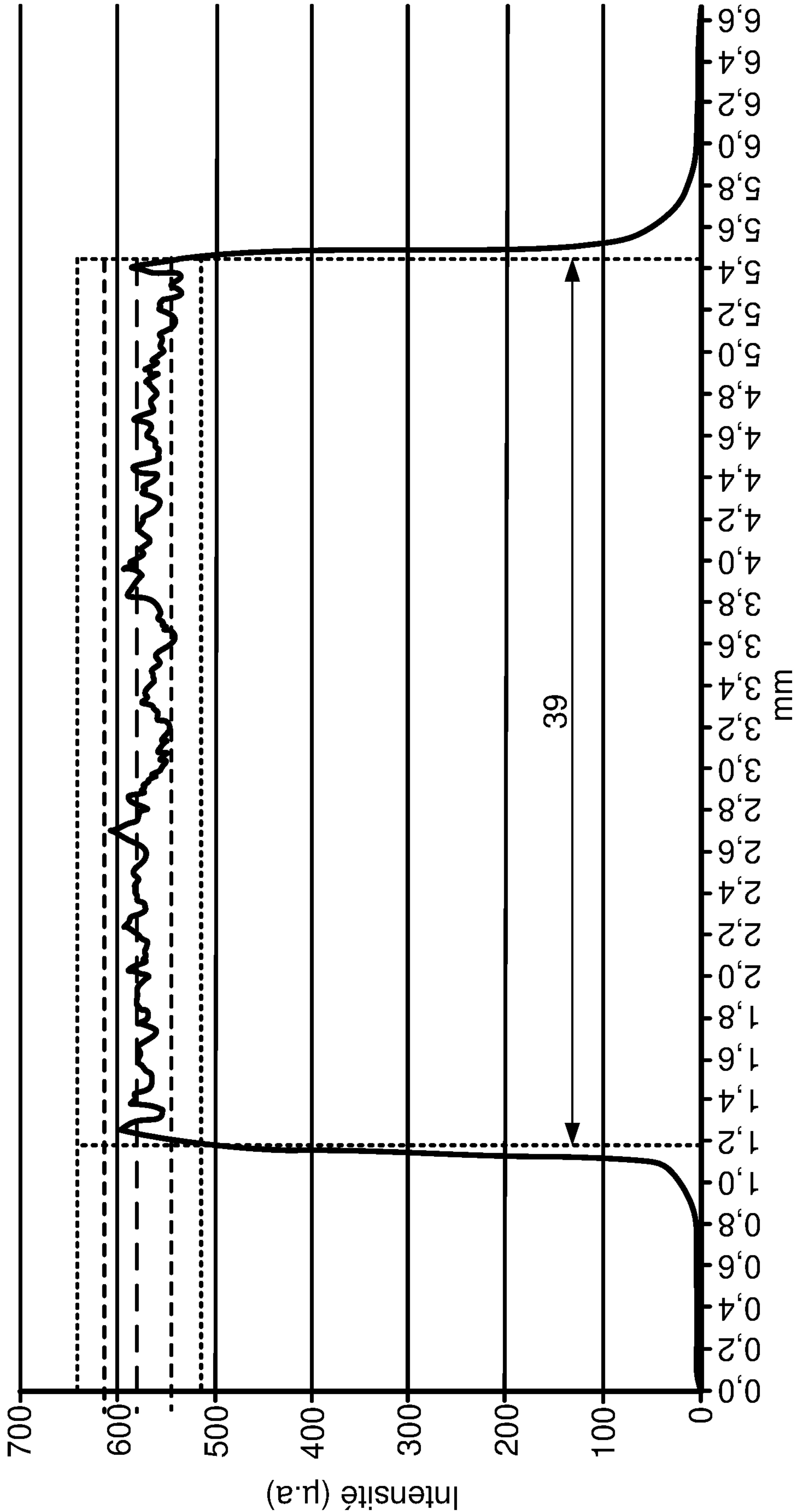


Fig. 9

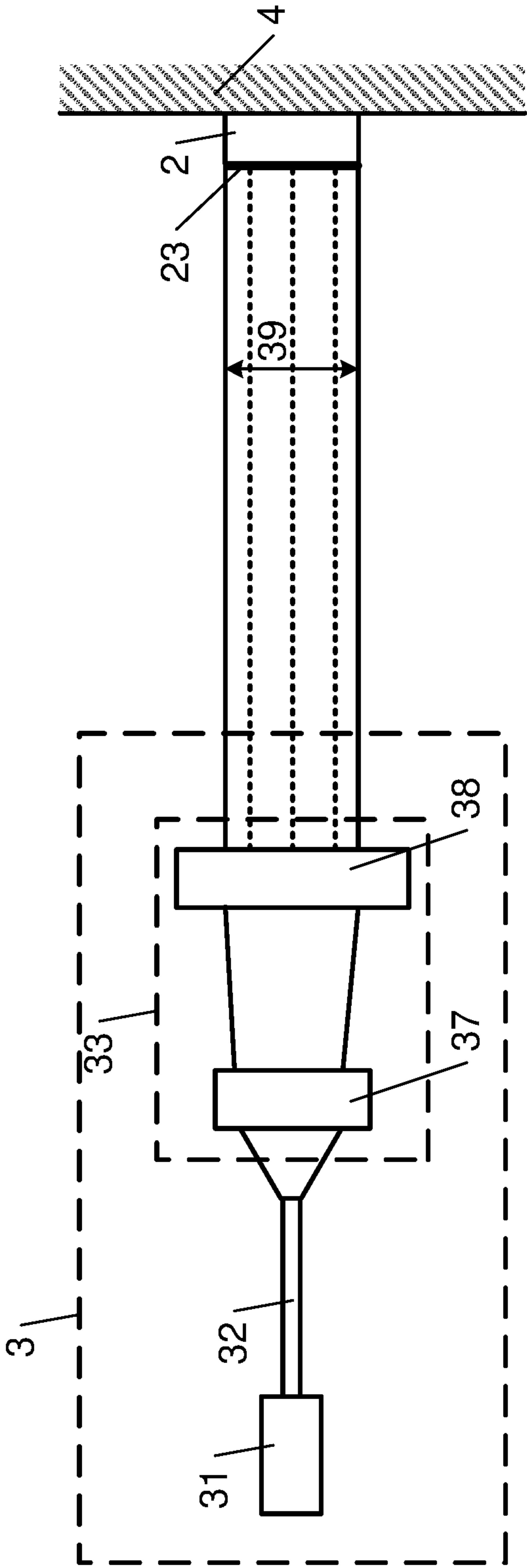


Fig. 10a

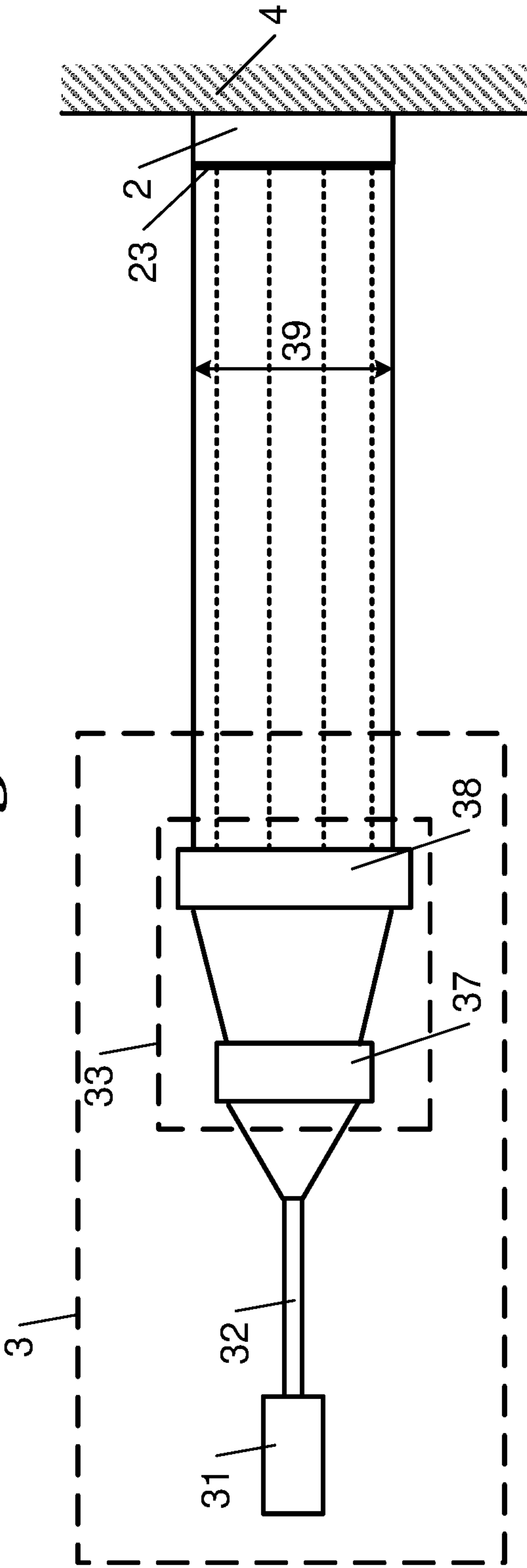


Fig. 10b

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL ÉTABLI EN VERTU
DE L'ARTICLE XI.23., §10 DU CODE DE DROIT ÉCONOMIQUE BELGE

IDENTIFICATION DE LA DEMANDE INTERNATIONALE		REFERENCE DU DEPOSANT OU DU MANDATAIRE	
		PAT2544225BE00	
Demande nationale belge n° 202005041		Date du dépôt 22-01-2020	
		Date de priorité revendiquée	
Déposant (Nom) LASER ENGINEERING APPLICATIONS			
Date de la requête d'une recherche de type international 08-02-2020		Numéro attribué par l'administration chargée de la recherche internationale à la requête d'une recherche de type international SN75508	
I. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE (en cas de plusieurs symboles de la classification, les indiquer tous)			
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB Voir rapport de recherche			
II. DOMAINES RECHERCHES			
Documentation minimale consultée			
Système de classification		Symboles de la classification	
IPC		Voir rapport de recherche	
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents font partie des domaines consultés			
III. ☐ IL A ÉTÉ ESTIMÉ QUE CERTAINES REVENDICATIONS NE POUVAIENT FAIRE L'OBJET D'UNE RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)			
IV. ☐ ABSENCE D'UNITÉ DE L'INVENTION ET/OU CONSTATATION RELATIVE À L'ÉTENDUE DE LA RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)			

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Demande de recherche No

BE 202005041

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. C21D1/09 B23K26/06 B23K26/062 B23K26/12 B23K26/352

C21D1/34 C21D1/38 C21D1/773 C21D9/00 F27B5/04

F27D7/06 C21D1/62

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

C21D B23K F27D F27B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	JP H11 241121 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 7 septembre 1999 (1999-09-07)	1-9, 17-20, 34-39, 41,42, 46,58
A	* alinéas [0040] - [0042], [0071] - [0083]; revendications 16-22; figures 1,13-21 *	10-16, 21-33, 40, 43-45, 47-57
X	----- US 2016/076115 A1 (ZENG XIAOYAN [CN] ET AL) 17 mars 2016 (2016-03-17)	1,36
A	* alinéas [0135] - [0138]; figures 1-13 * ----- -/-	2-35, 37-58

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche de type international a été effectivement achevée

9 septembre 2020

Date d'expédition du rapport de recherche de type international

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Catana, Cosmin

C.(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 2 402 466 A1 (DELTA TOOLING CO LTD [JP]) 4 janvier 2012 (2012-01-04)	1,36
A	* alinéas [0011], [0023], [0026]; revendications 1,3,14,19 * -----	2-35, 37-58
X	US 4 797 532 A (MAIOROV VLADIMIR S [SU]) 10 janvier 1989 (1989-01-10)	1,36
A	* revendications 1-5; figure 1 * -----	2-35, 37-58
A	EP 1 308 525 A2 (YAMAZAKI MAZAK CORP [JP]) 7 mai 2003 (2003-05-07)	1-58
	* revendications 1-17; figures 1-6 * -----	
A	JP 2015 063715 A (FUJI HEAVY IND LTD) 9 avril 2015 (2015-04-09)	1-58
	* abrégé; figures 1-9 * * alinéas [0049] - [0054] * -----	
A	SHUJA ET AL: "Laser heating of semi-infinite solid with consecutive pulses: Influence of materaial properties on temperature field", OPTICS AND LASER TECHNOLOGY, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS BV., AMSTERDAM, NL, vol. 40, no. 3, 29 octobre 2007 (2007-10-29), pages 472-480, XP022319023, ISSN: 0030-3992, DOI: 10.1016/J.OPTLASTEC.2007.07.015 * figures 1-7; tableaux 1,2 * -----	1-58

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande de recherche n
BE 202005041

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
JP H11241121	A	07-09-1999	JP	3817909 B2	06-09-2006
			JP	H11241121 A	07-09-1999

US 2016076115	A1	17-03-2016	CN	103215411 A	24-07-2013
			US	2016076115 A1	17-03-2016
			WO	2014121621 A1	14-08-2014

EP 2402466	A1	04-01-2012	EP	2402466 A1	04-01-2012
			JP	5382421 B2	08-01-2014
			JP	2010196106 A	09-09-2010
			US	2012042994 A1	23-02-2012
			US	2014008847 A1	09-01-2014
			WO	2010098292 A1	02-09-2010

US 4797532	A	10-01-1989	EP	0262225 A1	06-04-1988
			JP	S63502811 A	20-10-1988
			US	4797532 A	10-01-1989
			WO	8705843 A1	08-10-1987

EP 1308525	A2	07-05-2003	CN	1417354 A	14-05-2003
			EP	1308525 A2	07-05-2003
			US	2003080098 A1	01-05-2003

JP 2015063715	A	09-04-2015	JP	6244151 B2	06-12-2017
			JP	2015063715 A	09-04-2015



OPINION ÉCRITE

Dossier N° SN75508	Date du dépôt(jour/mois/année) 22.01.2020	Date de priorité (jour/mois/année)	Demande n° BE202005041
Classification internationale des brevets (CIB) INV. C21D1/09 B23K26/06 B23K26/062 B23K26/12 B23K26/352 C21D1/34 C21D1/38 C21D1/773 C21D9/00 F27B5/04 F27D7/06 C21D1/62			
Déposant LASER ENGINEERING APPLICATIONS			

La présente opinion contient des indications et les pages correspondantes relatives aux points suivants :

- ☒ Cadre n° I Base de l'opinion
- ☐ Cadre n° II Priorité
- ☐ Cadre n° III Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- ☐ Cadre n° IV Absence d'unité de l'invention
- ☒ Cadre n° V Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- ☐ Cadre n° VI Certains documents cités
- ☐ Cadre n° VII Irrégularités dans la demande
- ☒ Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

Formulaire BE237A (feuille de couverture) (Janvier 2007)	Examineur Catana, Cosmin
--	-----------------------------

OPINION ÉCRITE

Demande n°
BE202005041

Cadre n° I Base de l'opinion

1. Cette opinion a été établie sur la base des revendications déposées avant le commencement de la recherche.
2. En ce qui concerne **la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande, le cas échéant, cette opinion a été effectuée sur la base des éléments suivants :
 - a. Nature de l'élément:
 - ☐ un listage de la ou des séquences
 - ☐ un ou des tableaux relatifs au listage de la ou des séquences
 - b. Type de support:
 - ☐ sur papier
 - ☐ sous forme électronique
 - c. Moment du dépôt ou de la remise:
 - ☐ contenu(s) dans la demande telle que déposée
 - ☐ déposé(s) avec la demande, sous forme électronique
 - ☐ remis ultérieurement
3. ☐ De plus, lorsque plus d'une version ou d'une copie d'un listage des séquences ou d'un ou plusieurs tableaux y relatifs a été déposée, les déclarations requises selon lesquelles les informations fournies ultérieurement ou au titre de copies supplémentaires sont identiques à celles initialement fournies et ne vont pas au-delà de la divulgation faite dans la demande internationale telle que déposée initialement, selon le cas, ont été remises.
4. Commentaires complémentaires :

OPINION ÉCRITE

Demande n°
BE202005041

Cadre n° V Opinion motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Déclaration

Nouveauté	Oui :	Revendications	10-16, 21-33, 40, 43-45, 47-57
	Non :	Revendications	1-9, 17-20, 34-39, 41, 42, 46, 58
Activité inventive	Oui :	Revendications	10-16, 21-33, 40, 43-45, 47-57
	Non :	Revendications	1-9, 17-20, 34-39, 41, 42, 46, 58
Possibilité d'application industrielle	Oui :	Revendications	1-58
	Non :	Revendications	

2. Citations et explications

voir feuille séparée

Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

voir feuille séparée

Ad point V

Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle ; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1 Il est fait référence aux documents suivants :

D1 JP H11 241121 A & traduction automatique

D2 US 2016/076115 A1

D3 EP 2 402 466 A1

D4 US 4 797 532 A

2 Nouveauté et activité inventive

2.1 Revendications indépendantes

La présente demande ne remplit pas les conditions de brevetabilité, l'objet de la revendication indépendante 1/36 n'étant pas conforme au critère de nouveauté. Le procédé/système revendiqué est déjà décrit dans D1-D4.

Chaque document D1 - D4 divulgue un procédé de traitement thermique en volume d'une pièce et un système comme définie dans la revendication 1/36 (traitement thermique par irradiation avec une source laser et des moyens de support pour supporter la pièce à traiter; voir aussi point VIII 1,2):

- D1 (v. alinéas 40-42,71-83; revendications 16-22; figures 1,13-21);
- D2 (v. alinéas 135-138; figures 1-13);
- D3 (v. alinéas 11,23, 26; revendications 1,3,14,19);
- D4 (v. revendications 1-5; figure 1).

2.2 Revendications dépendantes

Les revendications dépendantes 2-35,37-58 isolée ne contiennent aucune caractéristique qui, en combinaison avec celles de l'une quelconque des revendications à laquelle elles se réfèrent, définisse un objet qui satisfasse aux exigences de la nouveauté et/ou de l'activité inventive (voir par exemple D1 a l'alinéas citées: stopper l'irradiation, chauffage homogène, trempe, refroidir par gaz ou convection, pièce en acier, moyens de support comprennent un matériau réfractaire, laser continue ou à impulsion, temps, température).

La combinaison des caractéristiques des revendications 1-4, 9-14 n'est pas comprise dans l'état de la technique et n'en découle pas de manière évidente. Le même argument s'applique mutatis mutandis à l'objet de le système pour les caractéristiques correspondante.

Ad point VIII

Certaines observations relatives à la demande

1. Le mode de réalisation de l'invention décrit aux alinéas 92-96,113 en vue des alinéas 28-34, tableaux 1-3 n'est pas couverts par les revendications 1 et 36. Ce défaut de concordance entre les revendications et la description laisse planer un doute sur l'objet pour lequel une protection est demandée.

Les revendications indépendantes 1 et 36 ne se fondent pas sur la description, étant donné que leur portée est plus large que celle qui est justifiée par la description. Les revendications ne sont donc pas claires.

2. Le termes employées dans les revendications ("une puissance et une durée d'exposition laser pour obtenir une élévation de température dans essentiellement l'ensemble du volume de la pièce"; "avec un degré d'isolation thermique" ont un sens relatif qui n'est pas bien établi, et il laisse subsister un doute quant à la signification des caractéristiques techniques auxquelles il se rapporte, au point que l'objet de desdites revendications n'est pas clairement défini.