

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
—  
PARIS  
—

①1 N° de publication : **2 631 727**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **88 06708**

⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : G 09 B 25/02; C 08 F 2/46; G 05 B 15/02;  
B 29 C 59/00, 59/16; B 29 B 13/08.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** **A1**

②2 Date de dépôt : 19 mai 1988.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 47 du 24 novembre 1989.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *Etablissement public dit : CENTRE NA-  
TIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS. —  
FR.*

⑦2 Inventeur(s) : Jean-Claude André; Miguel Cabrera;  
Jean-Yvon Jezequel; Philippe Karrer.

⑦3 Titulaire(s) :

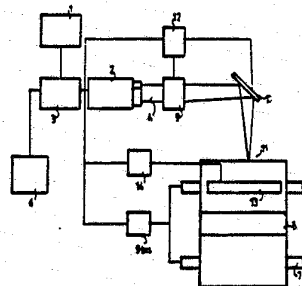
⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Orès.

⑤4 Procédé et dispositif de production de modèles de pièces industrielles par action de la lumière.

⑤7 Procédé et dispositif de production d'un modèle de pièce  
industrielle par phototransformation d'un matériau organique  
polymérisable ou réticulable mis en œuvre sous la forme d'au  
moins un film mince.

Dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

Application à la détermination de la forme d'une pièce par  
CAO.



FR 2 631 727 - A1

1  
La présente invention est relative à un procédé et un dispositif pour la production de modèles de pièces industrielles, par action de la lumière et notamment par phototransformation d'une matière plastique.

5 Il est souhaitable de pouvoir disposer de quelques modèles d'une pièce industrielle, telle, notamment, qu'une pièce mécanique, avant d'en lancer la fabrication en série. Actuellement, pour réaliser des modèles de telles pièces, il est nécessaire de faire tout d'abord effectuer des plans cotés au bureau d'études à partir de données chiffrées qui définissent la forme de la pièce et qui  
10 sont fournies, depuis quelques années, par un ordinateur utilisé pour déterminer la forme de la pièce par la méthode de "conception assistée par ordinateur" (CAO).

15 La présente invention a pour but de pourvoir à un procédé et à un dispositif de production de modèles de pièces industrielles en utilisant les données chiffrées disponibles dans les mémoires de sortie de l'ordinateur, directement pour réaliser les modèles de pièces sans être  
20 obligé de passer par l'intermédiaire de plans ou de devoir faire intervenir des machines numériques telles que fraiseuses, tours, etc...

Les procédés et dispositifs proposés pour la réalisation de modèles à l'aide de la CAO reposent, en  
25 règle générale, sur une polymérisation photochimique induite par laser. Le déplacement asservi d'un ou plusieurs faisceaux laser concentrés en un même point permet la polymérisation locale d'un monomère polyfonctionnel et, de proche en proche, la réalisation de la pièce.

30 En particulier le Brevet français CILAS-ALCATEL N° 84 11241 du 16 Juillet 1984 propose un dispositif de réalisation de modèles de pièces industrielles qui comprend : - un système de mémoires contenant des informations représentatives de la forme de la pièce industrielle ; - un  
35 circuit de traitement relié au système de mémoires et capable de délivrer à partir de ces informations, des signaux

représentatifs de la position d'éléments du volume de la pièce dont la réunion forme la totalité du volume de la pièce, lesquels signaux sont délivrés successivement pour une suite desdits éléments ordonnés suivant un premier balayage de la pièce ; - une cuve contenant un liquide monomère ; - un générateur d'un rayonnement laser relié à la sortie du circuit de traitement et apte à provoquer par polymérisation, la solidification du liquide monomère sous l'action dudit rayonnement, - et des moyens de commande, reliés au circuit de traitement, pour diriger le rayonnement laser, en réponse auxdits signaux, successivement vers des portions du liquide monomère de la cuve suivant un deuxième balayage identique au premier balayage et s'effectuant à partir du fond de la cuve pour solidifier successivement lesdites portions et former le modèle reposant sur le fond de la cuve.

Le dispositif proposé dans le Brevet français CILAS-ALCATEL N° 85 09054 du 14 Juin 1985 se distingue du précédent en ce que :

- 20 - le circuit de traitement a pour fonction de diviser le volume de la pièce en une pluralité de volumes élémentaires et de délivrer successivement des signaux représentatifs de la position de ces volumes élémentaires rangés suivant un premier balayage du volume de la
- 25 pièce ;
- la résine monomère est à l'état de liquide visqueux dans le réservoir ;
- il comporte une pompe électrique, commandée par le circuit de traitement, et dont l'entrée est reliée au
- 30 réservoir, tandis qu'elle délivre à sa sortie un volume de liquide visqueux égal au volume élémentaire balayé au cours du balayage ;
- il comporte un injecteur relié à la sortie de la pompe ;
- des moyens, reliés au circuit de traitement, sont prévus
- 35 pour le déplacement de l'injecteur au-dessus d'une plaque horizontale suivant un deuxième balayage iden-

tique au premier balayage et s'effectuant à partir de la plaque ;

- les moyens de solidification du liquide visqueux injecté, qui sont constitués par une source de rayonnement optique et des moyens pour diriger ce rayonnement vers la plaque, forment sur cette dernière, successivement des volumes élémentaires du modèle constitué par le liquide visqueux solidifié.

Le procédé et le dispositif de réalisation d'un modèle de pièce industrielle qui font l'objet du Brevet CILAS-ALCATEL N° 85 09055 également déposé le 14 juin 1985, se distinguent de l'objet du Brevet N° 85 09054 déposé en même temps, par les dispositions suivantes :

alors que dans les deux Brevets précédents, il est question d'une seule résine monomère à l'état de liquide visqueux, dans ce dernier Brevet, on se trouve en présence de deux liquides, un premier liquide qui est débité à travers l'injecteur déjà décrit précédemment, et un deuxième liquide contenu dans une cuve.

Selon un mode de réalisation, le premier liquide est constitué par un amorceur photochimique apte à provoquer la solidification par illumination, alors que le deuxième liquide est une résine monomère, l'amorceur pouvant éventuellement être dilué dans de la résine monomère.

Selon un autre mode de réalisation, le premier liquide est constitué par un mélange de résine monomère et d'amorceur, tandis que le deuxième liquide est un milieu neutre tel qu'un solvant non miscible à la résine monomère et à l'amorceur, tel que des alcools ou des mélanges d'alcools, dilués ou non dans l'eau, des hydrocarbures ou des mélanges d'hydrocarbures, le critère de choix étant que le milieu neutre doit présenter des propriétés d'absorption aussi faible que possible des rayonnements provoquant la polymérisation photochimique et ne diffuser qu'aussi peu que possible ces rayonnements. Le liquide contenu dans le réservoir peut en outre contenir des additifs neutres

propres à modifier sa densité pour la rendre sensiblement égale à celle de l'autre liquide ; de tels additifs peuvent être des particules de silice, d'alumine, d'oxyde de titane, de latex ou des particules de polymères.

5 Le dispositif proposé dans le Brevet français AUTOMOBILES PEUGEOT et AUTOMOBILES CITROEN N° 86 02327 du 20 février 1986 se distingue des précédents en ce que :

- le monomère ou l'oligomère - contenu dans la cuve est associé à un amorceur thermique ainsi qu'à des  
10 produits neutres, l'amorceur thermique étant une substance chimique qui se décompose sous l'action de la température pour donner des radicaux libres qui amorcent la réaction locale de polymérisation ou de réticulation ; - le générateur est dit être un générateur de rayonnement thermique  
15 infra-rouge et - des moyens de commande, reliés au circuit de traitement, sont prévus pour obturer le faisceau lumineux en cas de besoin, changer la distance de focalisation de la lumière excitatrice et injecter du matériau dans la cuve.

20 Il est, par ailleurs, connu de réaliser de tels modèles en utilisant un milieu sensible à l'intersection de deux rayonnements (mais insensible à chacun des deux rayonnements séparément), dont les générateurs sont guidés par ordinateur de telle sorte que l'intersection balaye le volume à modéliser, pour obtenir une polymérisation conforme  
25 au modèle [SPIE, vol. 458 "Applications of lasers to Industrial Chemistry" (1984) pages 90-97].

Il a également été proposé de réaliser directement en matière plastique par commande numérique, une pièce  
30 prototype conçue avec un écran graphique de CAO, par "stéréolithographie", en utilisant les propriétés de certains gels plastiques, les photopolymères, qui durcissent et se solidifient au contact des rayons ultra-violetts. L'appareil, décrit dans la Presse comme ayant été conçu par  
35 une firme américaine, 3D SYSTEMS INC, comprend une cuve qui contient le photopolymère liquide au niveau duquel affleure

une plateforme mobile qui descend pas-à-pas au cours de l'opération. Le faisceau d'un laser UV trace à la surface du liquide des coupes successives de l'objet à produire, grâce à un jeu de miroirs à déflexion électronique, piloté par la base de données du système de CAO. Le logiciel a préalablement subdivisé le modèle virtuel de l'objet en une multitude de tranches de faible épaisseur. Au fur et à mesure de la solidification de chaque tranche, le modèle "sculpté" plonge lentement dans la cuve : avec un laser de 10mW, ce système permettrait de créer une pièce de 30 mm de haut en 50 minutes, avec une précision de l'ordre du 1/100ème de mm. Le modèle obtenu, dont la surface serait lisse, pourrait être créé en toutes sortes de matériaux (plastiques), en une grande variété de couleurs, avec différentes duretés et toute une gamme de résistances à l'abrasion. SCIENCE ET TECHNOLOGIE N° 2, Février 1988 . INDUSTRIAL LASER REVIEW, Vol.2, N° 8, Janvier 1988, pages 11-137. Ce type de procédé de fabrication de modèles en trois dimensions, qui utilise le principe de l'absorption monophotonique de la lumière par des photoamorceurs de polymérisation ou de réticulation, présente l'inconvénient de nécessiter la superposition des monomères (ou des oligomères ou leurs mélanges) sur des parties déjà polymérisées; pour obtenir une bonne précision du modèle, il faut superposer un nombre considérable de couches liquides ou pâteuses de monomère, ce qui peut conduire à des temps de réalisation assez longs. De plus, le matériau obtenu après irradiation a, en général, une densité supérieure au matériau initial, ce qui peut conduire à des difficultés de mise en oeuvre du procédé et à des instabilités, des déformations ou des contraintes sur tout ou partie du modèle.

La présente invention a pour but de pourvoir à un procédé et à dispositif de production de modèles de pièces industrielles par action de la lumière, qui répond mieux aux nécessités de la pratique que les procédés et dispositifs visant au même but proposés dans l'Art anté-

rieur, notamment en ce qu'il élimine l'utilisation de ma-  
tériau polymérisable présentant un état initial liquide ou  
pâteux, et, par suite, réduit la durée de réalisation du  
modèle, diminue les risques d'augmentation de la densité du  
5 matériau après phototransformation, élimine les risques  
d'instabilités, et diminue les déformations ou les  
contraintes que pourrait subir le modèle.

La présente invention a pour objet un procédé  
de production d'un modèle de pièce industrielle par photo-  
10 transformation d'un matériau organique polymérisable ou ré-  
ticulable, par absorption monophotonique de la lumière par  
des photoamorceurs de polymérisation ou de réticulation,  
lequel procédé est caractérisé en ce que le matériau photo-  
polymérisable ou réticulable mis en oeuvre est un matériau  
15 à l'état solide ou plastique ayant la forme d'un film  
mince.

Selon un mode de mise en oeuvre du procédé  
conforme à la présente invention, il comprend la superposi-  
tion d'une pluralité de couches de film solide ou plastique  
20 polymérisable par phototransformation.

Selon une disposition avantageuse de ce mode de  
mise en oeuvre, le film mince solide ou plastique est  
choisi parmi les matériaux aptes à adhérer tant sur un sup-  
port que sur eux-mêmes, par pression ou par échauffement,  
25 et aptes à être transformés sous l'action d'un rayonnement  
adapté.

Selon une modalité avantageuse de cette dispo-  
sition, le film mince solide ou plastique, photopolyméri-  
sable, est rendu insoluble par phototransformation.

30 Conformément à l'invention un tel film rendu  
insoluble par phototransformation, comprend les composants  
essentiels suivants :

- des amorceurs photochimiques de polymérisation ou de  
réticulation par voie radicalaire ou par voie anionique  
35 ou cationique,
- un monomère polyfonctionnel apte à former un réseau

7  
réticulé propre à rendre le mélange insoluble

- un polymère thermoplastique soluble qui confère ses propriétés physico-chimiques, en particulier d'adhésion, au film

5 - éventuellement des colorants, des promoteurs et des plastifiants

- éventuellement un monomère monofonctionnel pouvant donner lieu à un plus haut polymère.

Un tel matériau est connu en lui-même et a été décrit par  
10 WALKER et Al. dans J. PHOTOGR. Sci., 18, 150 (1970).

Selon une autre modalité avantageuse de cette disposition, le film mince solide ou plastique, photopolymérisable, est rendu soluble par phototransformation.

Conformément à l'invention, un tel film rendu  
15 soluble par phototransformation, comprend les composants essentiels suivants :

- des amorceurs photochimiques de réaction par voie radicalaire ou par voie anionique ou cationique

20 - un polymère thermoplastique soluble qui confère ses propriétés physico-chimiques, en particulier d'adhésion, au film

- un polymère insoluble, éventuellement copolymérisé avec le polymère précédent, qui devient soluble par interaction avec les amorceurs

25 - éventuellement des colorants, des promoteurs d'adhésion et des plastifiants.

Les polymères insolubles qui sont rendus solubles par phototransformation sont connus en eux-mêmes et sont décrits notamment dans le Brevet Américain 3 201 239.

30 Selon un autre mode de mise en oeuvre du procédé conforme à la présente invention, afin d'augmenter la rapidité du procédé, la phototransformation n'est effectuée qu'à la surface du modèle.

35 Selon encore un autre mode de mise en oeuvre du procédé selon l'invention, la séparation par dissolution



des parties irradiées et non irradiées est accélérée par un apport d'énergie thermique ou mécanique ou par ultra-sons.

Selon un autre mode de mise en oeuvre du procédé selon l'invention, la formulation du film mince phototransformable est ajustée de façon à ce que le retrait du film après phototransformation soit nul ou très faible. Ceci permet d'éliminer les déformations ou les contraintes que pourrait subir le modèle.

Selon encore un autre mode de mise en oeuvre du procédé conforme à la présente invention, dans le cas où l'amorceur présent dans le film mince solide ou plastique, phototransformable, est un amorceur thermique du type du peroxyde de benzoyle ou analogue, le rayonnement nécessaire à la réalisation de la phototransformation dudit film mince, doit émettre dans l'infra-rouge.

Selon un mode de mise en oeuvre avantageux du procédé conforme à l'invention, le film phototransformable est initialement pris en sandwich par deux couches protectrices de polymère, la couche protectrice inférieure est retirée pour superposer la couche de film phototransformable sur une autre couche du même film, l'adhésion est obtenue par échauffement ou pression sur le film protecteur supérieur, que l'on retire ensuite avant l'irradiation, puis le film phototransformable est enroulé et collé d'abord sur un support puis sur lui-même de façon à former un cylindre de rayon croissant, après quoi un rayonnement lumineux irradie sélectivement le film suivant une génératrice du cylindre.

Selon une modalité avantageuse de ce mode de mise en oeuvre, le support du film mince est orienté de façon à décaler le film par rapport au rayonnement.

Selon un autre mode de mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention, le film est superposé et collé sur lui-même par couches successives sensiblement planes.

La présente invention a également pour objet un dispositif de production d'un modèle de pièce industrielle par action de la lumière, du type comportant :

- 5 - un système de mémoires contenant des informations représentatives de la forme de la pièce industrielle à modéliser ;
- un circuit de traitement relié au système de mémoires et capable de délivrer à partir de ces informations, des signaux représentatifs de la position d'éléments du volume de ladite pièce industrielle ;
- 10 - au moins un générateur de rayonnement lumineux relié à la sortie du circuit de traitement ;
- des moyens de commande reliés au circuit de traitement, pour diriger le rayonnement, en réponse aux signaux susdits, vers des zones successives d'un matériau à traiter par phototransformation pour réaliser ledit modèle,
- 15 lequel dispositif est caractérisé
- en ce que le matériau à traiter par phototransformation est présent sous la forme d'un film mince à l'état solide ou plastique ;
- en ce qu'il comprend un support propre à recevoir une pluralité de couches superposées dudit film mince ;
- en ce qu'il comprend également un dispositif, relié au circuit de traitement, qui réalise la séparation du modèle produit et du matériau non irradié, par
- 20 dissolution.

Selon un mode de réalisation avantageux du dispositif conforme à l'invention, celui-ci comprend, en

30 outre, un système mécanique, relié au circuit de traitement, qui réalise la superposition des couches de film solide ou plastique phototransformable et leur collage les unes aux autres.

Selon un autre mode de réalisation avantageux du dispositif conforme à l'invention, celui-ci comprend

35 également un système optomécanique qui met en forme le

rayonnement lumineux et qui le défléchit sur la surface du film, de façon à irradier les volumes élémentaires qui doivent former le modèle.

Selon encore un autre mode de réalisation avantageux du dispositif conforme à l'invention, le ou les générateur(s) de lumière est/sont conçu(s) pour émettre un/des rayonnement(s) apte(s) à provoquer une phototransformation localisée du film mince solide ou plastique, propre à affecter les propriétés de solubilité ou d'insolubilité de ce dernier.

Selon une disposition avantageuse de l'invention, le dispositif qui réalise la séparation par dissolution, du modèle produit et du matériau non irradié, comprend une cuve contenant un solvant approprié qui réalise la dissolution des parties non irradiées du film.

Selon une autre disposition avantageuse du dispositif conforme à l'invention, le film mince à l'état solide ou plastique, phototransformable, est inclus dans le dispositif sous la forme d'un rouleau comprenant une pluralité de couches de film superposées et collées l'une à l'autre.

Selon un mode de réalisation avantageux du dispositif optomécanique susdit, celui-ci est constitué par un miroir qui renvoie le faisceau lumineux à 45° et est déplacé par un ou deux axes motorisés.

Selon un autre mode de réalisation avantageux du dispositif optomécanique susdit, celui-ci est constitué par un miroir vibrant ou tournant suivant un axe parallèle à l'axe de déflexion du rayonnement par ledit miroir.

Selon une modalité avantageuse de ce mode de réalisation, un axe motorisé compense l'augmentation du rouleau de film mince.

Conformément à l'invention, le rayonnement lumineux mis en oeuvre est avantageusement un rayonnement laser pris dans le groupe :

- des lasers UV continus : lasers hélium-cadmium ou argon ionisé, notamment,
- des lasers UV impulsionnels : lasers à azote, à excimère ou YAG triplé ou quadruplé, notamment,
- 5 - des lasers visibles continus ou impulsionnels à condition de rajouter dans la formulation du film phototransformable, des produits photosensibilisateurs absorbant dans le domaine visible,
- des lasers infrarouges continus ou impulsionnels associés
- 10 à des amorces thermiques.

Outre les dispositions qui précèdent, l'invention comprend encore d'autres dispositions, qui ressortiront de la description qui va suivre.

L'invention sera mieux comprise à l'aide du complément de description qui va suivre, qui se réfère aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un mode de réalisation du dispositif selon l'invention,
- la figure 2 montre le film phototransformable pris en sandwich entre deux couches de polymère,
- 20 - la figure 3 est une vue en perspective d'une partie du dispositif illustré à la figure 1,
- la figure 4 montre un premier mode de réalisation d'une partie du dispositif illustré à la figure 1,
- 25 - la figure 5 montre un deuxième mode de réalisation de cette même partie.

Il doit être bien entendu, toutefois, que ces dessins et les parties descriptives correspondantes, sont donnés uniquement à titre d'illustration de l'objet de l'invention, dont ils ne constituent en aucune manière une limitation.

Sur la figure 1, est représenté un système de mémoires 1, disposé à la sortie d'un ordinateur non représenté, qui a été utilisé pour déterminer par la méthode C.A.O., les caractéristiques d'une pièce telle qu'une bielle. Un générateur laser 2 est connecté à la sortie du

système 1 à travers un circuit de traitement 3 et émet un rayonnement 4.

Le matériau phototransformable est un film solide ou plastique 5 enroulé en partie autour du support 7 et amorcé sur le support 8.

Dans le cas où le film est du type qui devient insoluble par phototransformation, on a avantage à utiliser des monomères tels que des spiroorthoesters qui polymérisent par ouverture de cycle et qui ont des retraits très faibles, ou encore un mélange de monomères de retraits respectivement positif et négatif de façon à annuler la somme algébrique des retraits. Du fait de l'absence de retrait, aucune contrainte significative ne peut apparaître dans le modèle produit.

Dans le cas où le film est du type qui est rendu soluble par phototransformation, on a avantage à utiliser des chaînes de type Novolaque, constituées par un polymère metacrésol-formaldéhyde, auquel cas l'amorceur est de préférence une diazonaphtoquinone. En l'absence d'irradiation, celle-ci forme un complexe avec le polymère précédent. L'ensemble est peu soluble dans les solutions basiques. Sous l'effet d'un rayonnement adapté, la diazonaphtoquinone est décomposée, augmentant ainsi la solubilité du matériau. D'autres mécanismes sont possibles : par exemple en augmentant la solubilisation d'un polymère par scission des chaînes, ce qui est possible avec des copolymères de méthacrylate de méthyle et d'acide méthacrylique.

Un système motorisé (9 bis), relié à 3, permet de dérouler le film du support 7 et de l'enrouler autour de 8.

Le rayonnement 4 est mis en forme par un système optique convergent 9 puis est défléchi par un deuxième système optique 10 sur une portion 11 du film 5. Un système motorisé 12, relié à 3, permet de commander 9 et 10.

Le dispositif comporte en outre un système mécanique 13, commandé par un système motorisé 14 relié à 3,

qui exerce une pression ou un échauffement sur le film 5 afin de le faire adhérer sur lui-même durant l'enroulement du film autour de 8. Une cuve 6 contenant un solvant adapté permet de séparer les parties irradiées et les parties non irradiées du film.

Sur la figure 2 est représenté le film phototransformable 5 pris en sandwich entre deux couches protectrices de polymère, 15 et 16.

La figure 3 est une vue en perspective qui précise la mise en oeuvre du procédé. Les films protecteurs 15 et 16 sont décollés du film phototransformable 5 et enroulés sur des supports 17 et 18. Ce processus est commandé par 9bis.

La figure 4 montre un type de balayage possible du rayonnement 4. Celui-ci est initialement parallèle à l'axe Oy puis est défléchi dans un plan  $x = \text{constante}$ , par un miroir 19 incliné à  $45^\circ$ . Le rayonnement 4 est focalisé sur la partie 11 du film 5 suivant une génératrice AB. Un système mécanique 20 relié à 3, comprenant un axe motorisé 21, et éventuellement un deuxième axe motorisé 22, permet de maintenir la convergence du faisceau sur le film pendant l'enroulement de celui-ci autour de 8, tout en balayant la génératrice AB.

La figure 5 montre une variante du procédé qui consiste à utiliser un miroir 23 vibrant ou tournant pour balayer la génératrice AB, ainsi qu'un système mécanique 24 et éventuellement un système optomécanique 25, pour maintenir la convergence du faisceau.

Le dispositif conforme à la présente invention décrit dans les figures 1 à 4 fonctionne de la façon suivante : le film phototransformable 5 pris en sandwich entre deux films protecteurs 15 et 16 est enroulé autour du support 7, le film phototransformable est amorcé sur le support 8, les films protecteurs sont respectivement amorcés sur 17 et 18. Un système de mémoires 1, disposé avantageusement à la sortie d'un ordinateur, communique au circuit

de traitement 3, les caractéristiques du modèle à créer. Celui-ci est alors décomposé en volumes élémentaires. Le circuit de traitement 3 commande le système motorisé 9bis qui enroule 16 autour de 18, 15 autour de 17 et 5 autour de 8. Pendant cette dernière opération, un système mécanique 13 permet de faire adhérer 5 sur lui-même suivant une génératrice CD. Un système motorisé 14, relié à 3, permet de compenser l'augmentation du rayon de film 5 enroulé autour de 8.

10 Un rayonnement laser 4, émis par 2, est mis en forme par un système optique convergent 9 puis est défléchi par un système optomécanique de façon à irradier une génératrice AB.

Ce système optomécanique est constitué par un 15 miroir 19 renvoyant le faisceau à 45° et qui est déplacé par un ou deux axes motorisés 21 et 22 (cf. Figure 4).

Selon une variante de réalisation, le système optomécanique est constitué par un miroir vibrant ou tournant 23 suivant un axe parallèle à Ox. Un axe motorisé 24 20 permet éventuellement de compenser l'augmentation du rayon du cylindre constitué par le photopolymère (cf. figure 5). Un système optomécanique 25 permet de maintenir la convergence du faisceau lorsque celui-ci décrit la génératrice AB.

25 Ainsi que cela ressort de ce qui précède, l'invention ne se limite nullement à ceux de ses modes de mise en oeuvre, de réalisation et d'application qui viennent d'être décrits de façon plus explicite ; elle en embrasse au contraire toutes les variantes qui peuvent venir 30 à l'esprit du technicien en la matière, sans s'écarter du cadre, ni de la portée, de la présente invention.

## REVENDICATIONS

1°) Procédé de production d'un modèle de pièce industrielle par phototransformation d'un matériau organique polymérisable ou réticulable, par absorption monophotonique de la lumière par des photoamorceurs de polymérisation ou de réticulation, lequel procédé est caractérisé en ce que le matériau photopolymérisable ou réticulable mis en oeuvre est un matériau à l'état solide ou plastique ayant la forme d'un film mince.

2°) Procédé selon la Revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend la superposition d'une pluralité de couches de film solide ou plastique polymérisable par phototransformation.

3°) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le film mince solide ou plastique est choisi parmi les matériaux aptes à adhérer tant sur un support que sur eux-mêmes, par pression ou par échauffement, et aptes à être transformés sous l'action d'un rayonnement adapté.

4°) Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le film mince solide ou plastique, photopolymérisable, est rendu insoluble par phototransformation.

5°) Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le film rendu insoluble par phototransformation comprend les composants essentiels suivants :

- des amorceurs photochimiques de polymérisation ou de réticulation par voie radicalaire ou par voie anionique ou cationique,
- un monomère polyfonctionnel apte à former un réseau réticulé propre à rendre le mélange insoluble
- un polymère thermoplastique soluble qui confère ses propriétés physico-chimiques, en particulier d'adhésion, au film



- éventuellement des colorants, des promoteurs d'adhésion et des plastifiants

- éventuellement un monomère monofonctionnel pouvant donner lieu à un plus haut polymère.

5                   6°) Procédé selon la Revendication 3, caractérisé en ce que le film mince solide ou plastique, photopolymérisable est rendu soluble par phototransformation.

10                   7°) Procédé selon la Revendication 6, caractérisé en ce que le film rendu soluble par phototransformation comprend les composants essentiels suivants :

- des amorceurs photochimiques de réaction par voie radicalaire ou par voie anionique ou cationique

15                   - un polymère thermoplastique soluble qui confère ses propriétés physico-chimiques, en particulier d'adhésion, au film

- un polymère insoluble, éventuellement copolymérisé avec le polymère précédent, qui devient soluble par interaction avec les amorceurs,

20                   - éventuellement des colorants, des promoteurs d'adhésion et des plastifiants.

8°) Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 7, caractérisé en ce que, afin d'augmenter la rapidité du procédé, la phototransformation n'est effectuée qu'à la surface du modèle.

25                   9°) Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les parties irradiées et non irradiées du film sont séparées par dissolution de ces dernières.

30                   10°) Procédé selon la Revendication 9, caractérisé en ce que la séparation par dissolution des parties irradiées et non irradiées est accélérée par un apport d'énergie thermique ou mécanique ou par ultra-sons.

35                   11°) Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la formulation du film mince phototransformable est ajustée de façon

à ce que le retrait du film après phototransformation soit nul ou très faible.

12°) Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 11, caractérisé en ce que, dans le cas où l'amorceur présent dans le film mince solide ou plastique, phototransformable, est un amorceur thermique du type du peroxyde de benzoyle ou analogue, le rayonnement nécessaire à la réalisation de la phototransformation dudit film mince, doit émettre dans l'infra-rouge.

13°) Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 12, caractérisé en ce que le film phototransformable est initialement pris en sandwich par deux couches protectrices de polymère, la couche protectrice inférieure est retirée pour superposer la couche de film phototransformable sur une autre couche du même film, l'adhésion est obtenue par échauffement ou pression sur le film protecteur supérieur, que l'on retire ensuite, le film phototransformable est enroulé et collé d'abord sur un support puis sur lui-même de façon à former un cylindre de rayon croissant, après quoi un rayonnement lumineux irradie sélectivement le film suivant une génératrice du cylindre.

14°) Procédé selon la Revendication 13, caractérisé en ce que le support du film mince est orienté de façon à décaler le film par rapport au rayonnement.

15°) Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 14, caractérisé en ce que le film est superposé et collé sur lui-même par couches successives sensiblement planes.

16°) Dispositif de production d'un modèle de pièce industrielle par action de la lumière, du type comportant :

- un système de mémoires (1) contenant des informations représentatives de la forme de la pièce industrielle à modéliser ;
- un circuit de traitement (3) relié au système de mémoires et capable de délivrer à partir de ces informations,

des signaux représentatifs de la position d'éléments du volume de ladite pièce industrielle ;

- au moins un générateur (2) de rayonnement lumineux (4), relié à la sortie du circuit de traitement (3) ;

5 - des moyens de commande reliés au circuit de traitement (3), pour diriger le rayonnement, en réponse aux signaux susdits, vers des zones successives d'un matériau à traiter par phototransformation pour réaliser ledit modèle,

10 lequel dispositif est caractérisé :

- en ce que le matériau à traiter par phototransformation est présent sous la forme d'un film mince (5) à l'état solide ou plastique ;

15 - en ce qu'il comprend un support propre à recevoir une pluralité de couches superposées dudit film mince ;

- en ce qu'il comprend également un dispositif, relié au circuit de traitement (3), qui réalise la séparation du modèle produit et du matériau non irradié, par dissolution.

20 17°) Dispositif selon la Revendication 16, caractérisé en ce qu'il comprend, en outre, un système mécanique(13), relié au circuit de traitement (3), qui réalise la superposition des couches de film solide ou plastique phototransformable et leur collage les unes aux  
25 autres.

18°) Dispositif selon l'une quelconque des Revendications 16 et 17, caractérisé en ce qu'il comprend également un système optomécanique qui met en forme le rayonnement lumineux et qui le défléchit sur la surface du  
30 film, de façon à irradier les volumes élémentaires qui doivent former le modèle.

19°) Dispositif selon l'une quelconque des Revendications 16 à 18, caractérisé en ce que le ou les générateur(s) (2) de lumière est/sont conçu(s) pour émettre  
35 un/des rayonnement(s) apte(s) à provoquer une phototransformation localisée du film mince solide ou plastique,

propre à affecter les propriétés de solubilité ou d'insolubilité de ce dernier.

20°) Dispositif selon l'une quelconque des Revendications 16 à 19, caractérisé en ce que le dispositif qui réalise la séparation par dissolution du modèle produit et du matériau non irradié, comprend une cuve (6) contenant un solvant approprié qui réalise la dissolution des parties non irradiées du film.

21°) Dispositif selon l'une quelconque des Revendications 16 à 20, caractérisé en ce que le film mince (5) à l'état solide ou plastique, phototransformable, est inclus dans le dispositif sous la forme d'un rouleau comprenant une pluralité de couches de film superposées et collées l'une à l'autre.

22°) Dispositif selon la Revendication 18, caractérisé en ce que le dispositif optomécanique est constitué par un miroir (19) qui renvoie le faisceau lumineux (4) à 45° et est déplacé par un ou deux axes motorisés (21, 22).

23°) Dispositif selon la Revendication 18, caractérisé en ce que le dispositif optomécanique est constitué par un miroir (23) vibrant ou tournant suivant un axe parallèle à l'axe suivant lequel le rayonnement est défléchi par ledit miroir.

24°) Dispositif selon la Revendication 22 ou la Revendication 23, caractérisé en ce qu'un axe motorisé compense l'augmentation du rouleau de film mince.

25°) Dispositif selon l'une quelconque des Revendications 16 à 24, caractérisé en ce que la source de rayonnement (4) est avantageusement une source de rayonnement laser prise dans le groupe

- des lasers UV continus : lasers hélium-cadmium ou argon ionisé, notamment,
- des lasers UV impulsionnels : lasers à azote, à excimère ou YAG triplé ou quadruplé, notamment,

- des lasers visibles continus ou impulsionnels à condition de rajouter dans la formulation du film phototransformable, des produits photosensibilisateurs absorbant dans le domaine visible,
- 5 - des lasers infrarouges continus ou impulsionnels associés à des amorces thermiques.

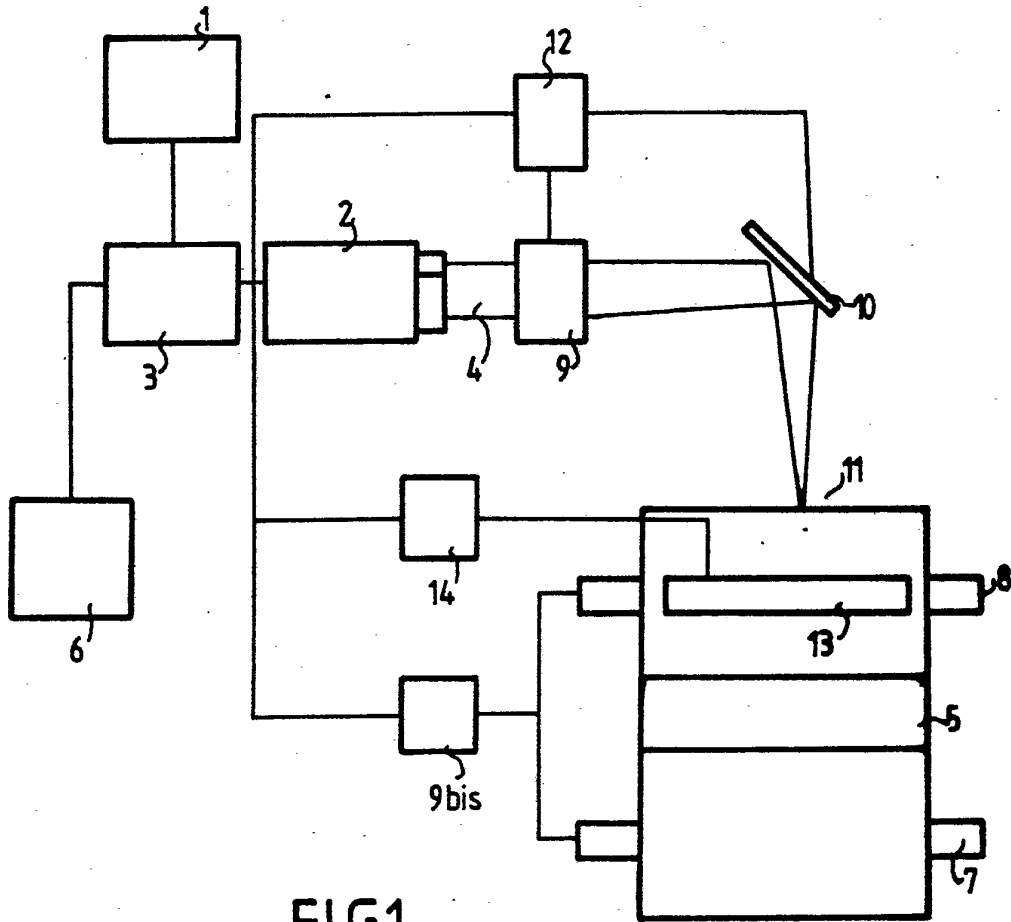


FIG.1

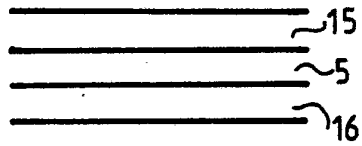
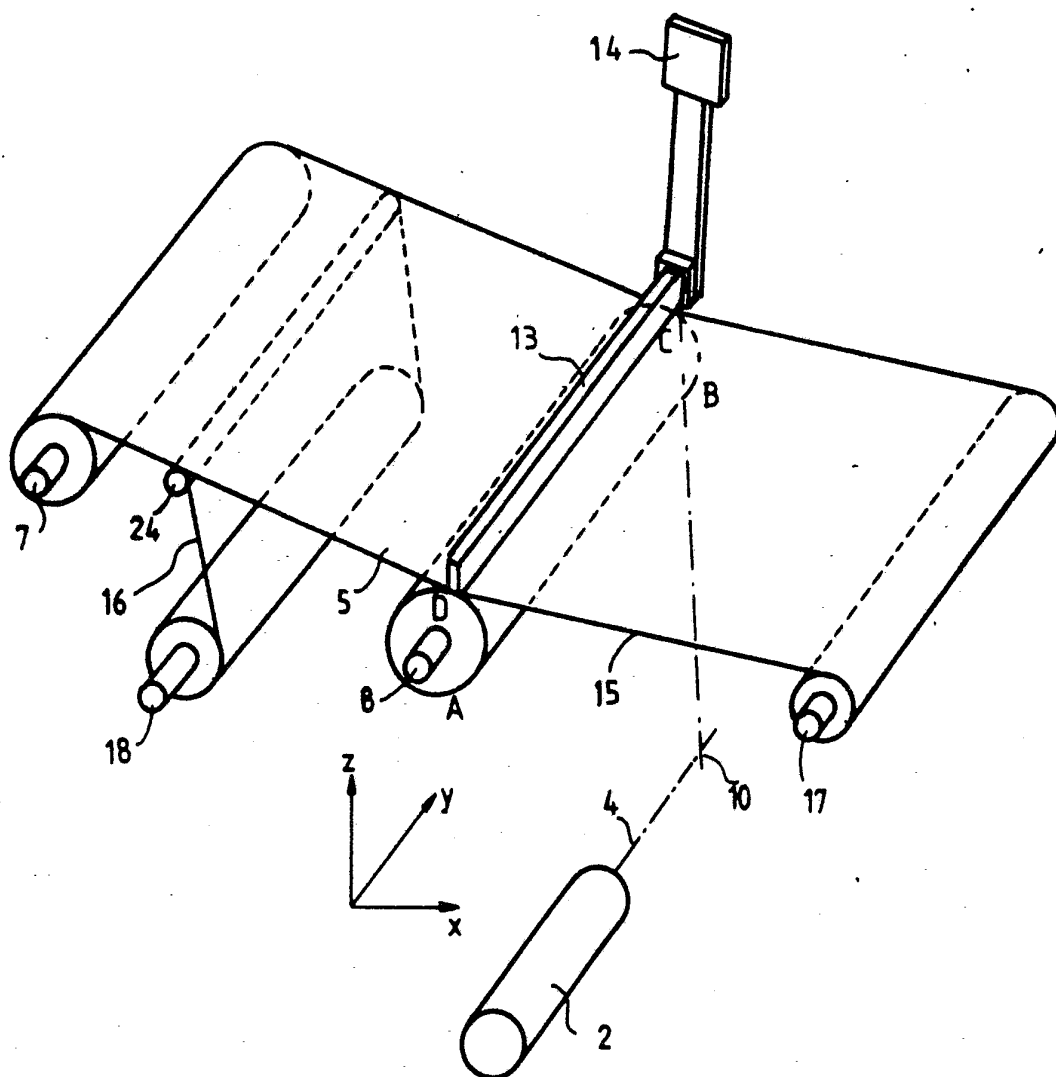


FIG.2

FIG. 3

