

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ Procédé de surmoulage d'un élément en matériau polymère thermodurcissable.

②② Date de dépôt : 08.01.22.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *Institut de Recherche Technologique
Jules Verne Fondation — FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 14.07.23 Bulletin 23/28.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 12.07.24 Bulletin 24/28.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : MASSETEAU Benjamin et BELLON
Franck.

⑦③ Titulaire(s) : Institut de Recherche Technologique
Jules Verne Fondation.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET NONY.



Description

Titre de l'invention : Procédé de surmoulage d'un élément en matériau polymère thermodurcissable

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne la réalisation d'éléments annexes en matière synthétique, notamment en matériau polymère thermodurcissable, sur un support.

Technique antérieure

[0002] Sur certaines pièces, d'avions par exemple, il est souvent nécessaire de rapporter des éléments annexes, ayant une fonction déterminée, par exemple de fixation ou de guide pour des câbles.

[0003] Ces éléments ne peuvent pas toujours être fabriqués directement avec la pièce de par leur localisation ou leur forme. De plus, le besoin d'un tel élément peut apparaître seulement après la fabrication de la pièce.

[0004] L'élément annexe peut être en matériau polymère thermodurcissable.

[0005] Il est connu de faire l'ajout par collage de l'élément sur la pièce. Cependant, la tenue mécanique de la liaison entre l'élément et la pièce dépend de l'opérateur et n'est donc pas toujours optimale dans le cas d'un collage. De plus, le collage, pour qu'il soit de bonne qualité, demande un temps d'opération très long.

[0006] Il est également connu de fixer mécaniquement l'élément annexe par vissage, notamment en complément du collage pour assurer un minimum de tenue mécanique. Ce dernier offre généralement une meilleure tenue mécanique que le collage mais peut dégrader la résistance mécanique de la pièce car des trous y sont pratiqués pour positionner les vis, en particulier lorsque celle-ci est en matériau composite. Le vissage implique une opération supplémentaire d'étanchéification des trous et de l'interface entre la pièce et l'élément annexe, par exemple un ajout de mastic. De plus, la fixation par vissage accroît la masse de l'ensemble car ce sont des éléments métalliques lourds, ce qui n'est pas souhaitable dans les secteurs de l'aéronautique ou du spatial.

[0007] Par ailleurs, le collage ou le vissage s'accompagnent souvent d'un nombre important d'opérations manuelles.

Exposé de l'invention

[0008] Il existe un besoin pour faciliter l'ajout d'un ou plusieurs éléments annexes en matériau polymère thermodurcissable sur une pièce déjà fabriquée.

[0009] Il existe également un besoin pour réduire la variabilité de la résistance mécanique de la liaison entre l'élément collé et la pièce.

Résumé de l'invention

[0010] La présente invention répond à ces besoins en proposant un procédé de réalisation

d'un élément annexe sur une pièce, notamment pour la fonctionnaliser, en particulier une pièce en matériau composite comportant une matrice en matériau polymère thermodurcissable, le procédé comportant les étapes suivantes :

- a. positionner à l'aide d'un bras robotisé un moule sur la pièce, le moule comportant une cavité ayant une forme correspondant à l'élément à réaliser, cette cavité présentant une ouverture, le moule étant positionné sur la pièce de telle manière que l'ouverture du moule soit fermée par au moins une surface extérieure de la pièce,
- b. injecter une résine thermodurcissable dans le moule maintenu contre la pièce dans des conditions permettant à la résine de polymériser,
- c. démouler l'élément ainsi surmoulé sur la pièce.

[0011] Grâce à l'invention, la polymérisation du matériau formant l'élément est réalisée au contact de la pièce qui sert de support. Cette polymérisation conduit à une liaison entre l'élément et la pièce qui présente une bonne résistance mécanique et surtout qui est faiblement variable d'une mise en œuvre du procédé à une autre.

[0012] De plus, la pièce n'est pas ou que très peu dégradée par le procédé de fabrication, ce qui lui permet de conserver toutes ses propriétés mécaniques d'origine. En particulier, aucun trou n'a à être réalisé dans la pièce au cours du procédé.

[0013] L'emploi d'une résine thermodurcissable permet de conserver une pression d'injection faible (typiquement inférieur à 20 bar), qu'il est facile de contrecarrer à l'aide d'un bras robotisé, même de faible capacité, notamment une capacité inférieure à 100 kg, ou par d'autres moyens. Par comparaison, l'injection d'une résine thermoplastique nécessiterait des pressions nettement plus élevées (typiquement supérieur à 500 bar), qui seraient incompatibles avec l'emploi d'un bras robotisé ou d'un électro-aimant pour maintenir le moule durant l'injection.

[0014] Le moule servant à la fabrication peut être de taille réduite et facilement déplaçable par un bras robot, même de faible capacité. Il peut être aisément positionné avec une très bonne précision à différents endroits sur la pièce, et avec l'orientation voulue, en fonction des besoins.

[0015] L'utilisation d'un bras robotisé permet d'automatiser facilement le procédé de fabrication, d'accélérer la fabrication et offre un bon contrôle de la qualité de l'assemblage entre l'élément et la pièce.

[0016] La pièce peut être en matériau composite, en matériau polymère, thermoplastique ou thermodurcissable, en un matériau métallique, ou être hybride et comporter au moins un matériau métallique et un matériau polymère.

[0017] La pièce est de préférence une pièce en matériau composite, notamment à matrice en matériau polymère thermodurcissable, car cela permet d'optimiser l'affinité chimique de la matrice de la pièce avec la résine de l'élément qui est surmoulé à son contact.

- [0018] Le procédé peut comprendre, avant l'étape a) de positionnement, une étape de traitement de surface localisé de la pièce sur laquelle l'élément doit être surmoulé. Cette étape peut comporter un ponçage, un texturage, un nettoyage, par exemple avec un solvant, et/ou un traitement plasma, ce traitement étant réalisé manuellement ou de manière automatique, par exemple en utilisant le même bras robotisé muni d'un effecteur adapté.
- [0019] Le procédé peut comporter, avant l'étape a) de positionnement, une étape préalable de préchauffage du moule, la polymérisation de la résine étant de préférence provoquée par la chaleur résiduelle du moule. Dans ce cas, la chaleur peut ne pas être produite directement dans le moule. De cette façon, le poids et l'encombrement du moule sont limités, ce qui facilite sa manipulation et son positionnement sur la pièce. De plus, le coût de fabrication du moule est réduit, ce qui est avantageux lorsque l'on souhaite utiliser plusieurs moules à la fois sur une ou plusieurs pièces. La partie du moule qui définit la cavité de moulage est de préférence métallique, de façon à présenter une inertie thermique relativement importante. Elle peut être en acier, afin de présenter une résistance mécanique élevée, notamment en un acier qualifié de « dur » pour augmenter sa durée de vie.
- [0020] Au cours de l'étape a) de positionnement et/ou de l'étape b) d'injection, la pièce est avantageusement maintenue à une température bien en-dessous de la température du moule, afin de ne pas la dégrader.
- [0021] Au cours de l'étape a) de positionnement, la normale à la surface de la pièce sur laquelle le moule est positionné peut former avec l'horizontale un angle compris entre 0° et 90°.
- [0022] Le bras robotisé peut être utilisé pour transporter le moule entre un poste de préchauffage de celui-ci et la pièce.
- [0023] En variante, ou additionnellement, le procédé peut comporter, après ou pendant l'étape b) d'injection, une étape de chauffage du moule, par exemple à l'aide d'un ou plusieurs éléments chauffants présents dans le moule, ce qui peut permettre d'augmenter la température de transition vitreuse T_g de la résine dans le moule.
- [0024] Le bras robotisé peut être utilisé pour contrecarrer la pression d'injection de la résine lors du remplissage du moule au contact de la pièce. En variante, un électroaimant disposé derrière la pièce peut être utilisé pour aider à contrecarrer la pression d'injection.
- [0025] Le bras robotisé peut être séparé du moule après prise en gel de la résine mais avant polymérisation complète de celle-ci. Cela permet de réduire la durée pendant laquelle le bras robotisé est monopolisé par l'élément en cours de réalisation.
- [0026] Par « prise en gel », on entend la prise par la résine d'un état intermédiaire lors du processus de polymérisation de celle-ci, état dans lequel la résine ne peut plus

s'écouler de manière fluide, la pression exercée sur le moule pour le presser contre la pièce pouvant alors être relâchée sans risque de fuite de résine.

- [0027] La cavité du moule peut être alimentée au travers d'un conduit d'alimentation pourvu d'un refroidisseur thermique, notamment un refroidisseur thermique passif à ailettes. Le refroidisseur thermique peut également être actif le cas échéant, par exemple par la circulation forcée d'un fluide de refroidissement ou par l'utilisation de dissipateur à effet Peltier. Le conduit d'alimentation peut rester solidaire du moule lorsque le bras robotisé se détache du moule ; en variante, ce conduit d'alimentation reste solidaire du bras robotisé lorsque ce dernier se détache du moule.
- [0028] Le remplissage de la cavité s'effectue, de préférence, jusqu'à ce que la résine atteigne un conduit de fin de remplissage, muni de préférence d'un bouchon poreux laissant sortir les gaz mais s'opposant au passage de la résine.
- [0029] Dans ce cas, le volume de résine injecté peut être contrôlé par la détection de l'arrivée de la résine dans ce conduit de fin de remplissage, par un capteur, notamment optique.
- [0030] En variante ou en complément, le volume de résine injecté peut être contrôlé par la détection de l'augmentation de la pression dans le moule. Ce dernier peut être muni d'un capteur de pression, le cas échéant.
- [0031] Le moule peut être maintenu en pression contre la pièce en utilisant au moins un vérin, notamment hydraulique ou pneumatique, agissant entre le bras robotisé et le moule. Dans un exemple de réalisation, le moule peut être maintenu en appui sur la pièce par une force comprise entre 10 et 200 kg.
- [0032] Le moule, lorsque métallique, peut être réalisé dans un matériau ferromagnétique, afin de lui permettre d'être maintenu en appui contre la pièce par l'action d'un champ magnétique traversant celle-ci, provoqué par un électroaimant, ce qui peut permettre de libérer plus rapidement le bras robotisé.
- [0033] La pression exercée par le moule sur la pièce peut être réduite au cours de l'injection. Le maintien d'une pression d'appui du moule sur la pièce peut cesser après l'étape b) d'injection, notamment après une durée prédéterminée après la fin de l'injection. Cette durée prédéterminée peut être comprise entre 2 min et 10 min, notamment entre 4 min et 7 min. La durée choisie est de préférence celle qui suffit pour assurer la prise en gel de la résine dans le moule.
- [0034] L'étanchéité entre le moule et la pièce peut être obtenue à l'aide d'une lèvre métallique formant saillie sur le moule et s'appliquant contre la pièce. Cette lèvre métallique a de préférence une épaisseur inférieure à 1 mm, notamment comprise entre 0,1 mm et 0,5 mm. Une telle épaisseur permet d'éviter d'endommager la pièce tout en permettant d'assurer l'étanchéité requise entre le moule et la pièce. Le fait que la partie du moule servant à réaliser la cavité de moulage soit réalisée en acier permet à la lèvre

de présenter une bonne résistance mécanique dans le temps.

- [0035] Le bras robotisé peut porter une interface munie d'un système d'alimentation en résine pourvu d'un premier connecteur fluidique, et le moule peut comporter un deuxième connecteur fluidique apte à s'accoupler avec le premier lorsque le moule est accouplé à l'interface, pour permettre l'injection de résine dans le moule.
L'accouplement mécanique entre le moule et l'interface s'effectue par exemple avec un système à une ou plusieurs broches verrouillables, l'interface portant le mécanisme de verrouillage.
- [0036] Le système d'alimentation peut comporter un clapet anti-retour permettant d'éviter que la résine ne coule lorsque le moule est déplacé par le bras robotisé.
- [0037] Le procédé peut comporter, avant l'étape a) de positionnement et/ou avant l'étape c) de démoulage, une étape consistant à accoupler le moule au bras robotisé.
- [0038] Lorsque la mise en pression du moule sur la pièce est réduite au cours ou après l'étape b) d'injection, le moule peut être désaccouplé du bras robotisé après réduction de la pression.
- [0039] Au cours de l'étape b) d'injection, la résine peut être injectée dans la cavité du moule à une pression comprise entre 0,5 bar et 5 bar, notamment à une pression de $2 \text{ bar} \pm 0,2$. A titre de comparaison, la pression d'injection d'une matière thermoplastique est typiquement de plusieurs centaines voire plusieurs milliers de bars.
- [0040] La résine polymère thermodurcissable peut être choisie dans le groupe constitué par les résines de polyépoxydes, les résines de polyuréthanes réticulées, les résines de polyesters, les résines de vinylesters, les résines cyanate esters, les résines phénoliques, les résines polyuréthanes ou un mélange de celles-ci.
- [0041] La résine injectée à l'étape b) peut être chargée, notamment de particules minérales, métalliques ou céramiques ou de fibres, par exemple de verre ou de carbone. La charge peut notamment permettre de moduler la résistance au feu, la conductivité électrique et/ou thermique et/ou les propriétés mécaniques de l'élément.
- [0042] De plus, l'utilisation d'une charge permet de limiter l'importance du retrait de la résine lors de sa polymérisation. En effet, si le retrait volumique est trop important, la qualité mécanique de la liaison à l'interface entre l'élément et la pièce peut être dégradée.
- [0043] De préférence, le retrait volumique de la résine lors de sa polymérisation est inférieur ou égal à 2% et idéalement inférieur à 1%.
- [0044] L'étape c) de démoulage de l'élément peut être réalisée à l'aide du bras robotisé.
- [0045] L'étape c) de démoulage de l'élément peut être réalisée entre 10 min et 30 min, notamment entre 12 min et 20 min après la fin de l'étape b) d'injection. Ces temps varient en fonction des résines utilisées ainsi qu'en fonction de la température du moule.

- [0046] L'étape c) de démoulage peut être réalisée par le robot selon un axe de démoulage prédéterminé, notamment selon un axe normal à la surface de la pièce sur laquelle le moule est positionné.
- [0047] En variante, l'opération de démoulage peut être plus complexe en présence de contre-dépouilles, et impliquer un mouvement plus complexe du moule et/ou une ouverture du moule impliquant le déplacement d'au moins un tiroir.
- [0048] L'opération de démoulage peut s'accompagner de la rupture d'une carotte formée par la résine ayant polymérisée dans le conduit de fin de remplissage et/ou dans le conduit d'alimentation. Pour faciliter cette rupture, le conduit de fin de remplissage et/ou celui d'alimentation peuvent comporter un rétrécissement de section destiné à constituer une zone de rupture préférentielle lors de l'opération de démoulage.
- [0049] Le procédé peut comporter, après l'étape c) de démoulage, une étape de remise en service du moule. Dans cette étape de remise en service, le moule peut être nettoyé pour enlever les éventuelles traces de résine. Le cas échéant, le conduit d'alimentation et/ou le conduit de fin de remplissage peuvent être nettoyés et/ou au moins partiellement remplacés.
- [0050] Après l'étape de remise en service, le moule peut être réutilisé pour former un nouvel élément en mettant en œuvre à nouveau le procédé selon l'invention.
- [0051] L'élément surmoulé peut comporter, le cas échéant, un insert, par exemple disposé dans la cavité du moule avant le positionnement de ce dernier sur la pièce. On pense notamment à l'utilisation d'une préforme fibreuse 3D.
- [0052] Le procédé peut être mis en œuvre successivement avec plusieurs moules.

Installation

- [0053] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, une installation pour la mise en œuvre du procédé tel que défini précédemment, pour la réalisation d'au moins un élément sur une pièce à l'aide d'au moins un moule comportant une cavité ayant une forme correspondant à l'élément à réaliser, cette cavité présentant une ouverture, l'installation comportant :
- un système d'alimentation en résine thermodurcissable du moule,
 - un système de chauffage du moule,
 - un bras robotisé permettant de déplacer le moule.
- [0054] L'installation permet la fabrication d'au moins un élément sur la pièce, de manière simple et fiable. L'installation est également très adaptative car elle peut être facilement utilisée pour fabriquer différents éléments sur différentes pièces.
- [0055] Le système de chauffage du moule peut être dissocié du moule, comportant par exemple une surface chauffante sur laquelle le moule peut être posé en attente d'utilisation. Le système de chauffage du moule peut aussi comporter une enceinte fermée chauffée dans laquelle le moule est placé avant d'être utilisé.

- [0056] Le ou les moules peuvent ainsi être placés, notamment par le bras robotisé, sur la surface chauffante ou dans l'enceinte avant d'être positionnés sur la pièce pour la fabrication du ou des éléments.
- [0057] Le moule peut être détachable du bras robotisé. Il est alors facile de modifier le moule et/ou de le préparer, et le temps d'occupation du robot par le moule peut être réduit.
- [0058] Ainsi, le bras robotisé peut, une fois la résine gélifiée dans le moule, se désaccoupler d'un premier moule et aller chercher un second moule pour réaliser un second élément, la polymérisation continuant dans le premier moule. Lorsque plusieurs éléments doivent être fabriqués sur une même pièce, le temps nécessaire pour fabriquer ces éléments est alors réduit.
- [0059] Le bras robotisé peut porter une interface munie du système d'alimentation en résine, ce dernier étant pourvu d'un premier connecteur fluide apte à s'accoupler avec un deuxième connecteur fluide présent sur le moule, lorsque le moule est accouplé à l'interface.
- [0060] L'installation peut également comporter une zone de stockage des moules utilisés dans laquelle le ou les moules peuvent être placés après la fabrication d'un élément dans l'attente d'être remis en service.
- [0061] L'installation peut comporter un système de pilotage du bras robotisé, par exemple un ordinateur ou un automate, et divers systèmes mécaniques pour la mise en œuvre du procédé.
- [0062] L'installation peut comporter un électroaimant servant à maintenir le moule contre la pièce, le champ magnétique s'exerçant à travers l'épaisseur de la pièce.

Moule

- [0063] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, en combinaison avec ce qui précède, un moule pour la réalisation d'un élément sur une pièce, pour la mise en œuvre du procédé tel que défini précédemment et/ou utilisé dans l'installation telle que définie précédemment, le moule comportant une cavité ayant une forme correspondant à l'élément à réaliser, cette cavité présentant une ouverture à disposer en regard de la pièce.
- [0064] Le moule peut comporter une lèvre métallique formant saillie sur le moule et entourant l'ouverture de la cavité, la lèvre métallique ayant notamment une épaisseur inférieure ou égale à 1 mm, notamment comprise entre 0,1 mm et 0,5 mm.
- [0065] Le moule peut le cas échéant comporter un joint d'étanchéité entourant ladite ouverture de la cavité, notamment extérieur à la lèvre métallique précitée, ce joint assurant une barrière supplémentaire en empêchant les fuites de résine si l'étanchéité obtenue avec la lèvre n'est pas complète. Ce joint d'étanchéité peut être un cordon en élastomère.

- [0066] Le moule peut comporter un système d'accouplement avec le bras robotisé. Ce système d'accouplement peut comporter une ou plusieurs broches sur le moule, et un ou plusieurs logements correspondant sur l'interface, ou inversement.
- [0067] Le moule peut comporter un conduit d'alimentation pourvu d'un refroidisseur thermique permettant d'alimenter la cavité en résine, notamment un refroidisseur thermique passif à ailettes. Ce conduit d'alimentation peut être un consommable, c'est-à-dire être remplacé au moins partiellement après chaque utilisation du moule.
- [0068] La partie du conduit d'alimentation située au niveau du refroidisseur thermique peut être utilisée pour plusieurs surmoulages, le refroidisseur thermique empêchant ou limitant la prise en gel de la résine dans cette partie.
- [0069] Le moule peut comporter un conduit de fin de remplissage, muni de préférence d'un bouchon poreux laissant sortir les gaz mais s'opposant au passage de la résine, le conduit de fin de remplissage étant notamment pourvu d'un refroidisseur thermique, notamment un refroidisseur thermique passif à ailettes. Le bouchon poreux permet d'évacuer les gaz piégés dans la cavité du moule et peut permettre de mettre en pression la résine en fin de remplissage du moule pour pouvoir réaliser des étapes de compactage. Cela peut se faire par exemple par l'ajout de 1 ml de résine, 2 fois avec un intervalle de 20s, ce qui permet de compenser le retrait de la résine quand elle réticule. Le conduit de fin de remplissage peut être un consommable, c'est-à-dire être remplacé au moins partiellement après chaque utilisation du moule. Le conduit de fin de remplissage peut comporter au moins une partie réalisée dans une matière plastique transparente, de manière à permettre une détection optique de la résine à travers sa paroi, cette détection pouvant renseigner sur la fin de remplissage du moule.
- [0070] La cavité du moule peut avoir une forme sans contre-dépouille, c'est-à-dire permettant le démoulage de l'élément par une simple traction exercée dessus.
- [0071] Le moule peut aussi être plus complexe et formé de différentes parties assemblées entre elles de manière amovible, par exemple pour former une cavité ayant une contre-dépouille.
- [0072] La partie du moule qui définit la cavité de moulage est avantageusement réalisée en métal, notamment en acier. Cela présente l'avantage de conférer au moule une bonne inertie thermique, nécessaire pour conserver une température permettant la polymérisation de la résine en l'absence de moyens de chauffage propres. La température du moule est ainsi par exemple de 130°C en début d'injection et de 100°C en fin d'injection.

Interface

- [0073] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, en combinaison avec ce qui précède, une interface configurée pour être accouplée à un bras robotisé et à un moule tel que défini précédemment, comportant un connecteur fluidique apte à

s'accoupler avec un connecteur fluide complémentaire du moule lorsque ce dernier est accouplé à l'interface et au moins un vérin permettant de maintenir le moule en pression sur la pièce. Ce vérin peut être instrumenté afin de permettre au système de connaître la pression réellement appliquée.

- [0074] L'interface peut comporter un système d'alimentation en résine thermodurcissable du moule.
- [0075] L'interface peut comporter un détecteur de fin de remplissage de la cavité du moule, notamment un détecteur de fin de remplissage destiné à détecter l'arrivée de la résine dans le conduit précité de fin de remplissage du moule. Ce détecteur peut être optique, comme mentionné précédemment.
- [0076] L'interface peut comporter un système d'accouplement au moule, par exemple un système comportant une ou plusieurs broches adaptées à s'engager dans des logements correspondants ou inversement, muni d'un mécanisme de verrouillage des broches dans leurs logements.

Système

- [0077] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, en combinaison avec ce qui précède, un système comportant une pluralité de moules tels que définis précédemment et une installation telle que définie précédemment.
- [0078] Le système comporte par exemple entre 2 et 50 moules pour former un ou plusieurs types d'éléments sur une ou plusieurs pièces.
- [0079] Les moules peuvent être identiques, le cas échéant.

Brève description des dessins

- [0080] L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'exemples de mise en œuvre non limitatifs de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé, sur lequel
- [0081] [Fig.1] la [Fig.1] illustre, en vue de côté, de manière schématique, une première étape d'un exemple de procédé selon l'invention, mise en œuvre à l'aide d'un système selon l'invention,
- [0082] [Fig.2] la [Fig.2] illustre, en vue de côté, de manière schématique, l'accouplement du bras robotisé et d'un moule de la [Fig.1],
- [0083] [Fig.3] la [Fig.3] est un agrandissement de la [Fig.2] selon III,
- [0084] [Fig.4] la [Fig.4] est une vue similaire à la [Fig.2],
- [0085] [Fig.5] la [Fig.5] est une vue similaire à la [Fig.1] illustrant une autre étape du procédé,
- [0086] [Fig.6] la [Fig.6] est une vue similaire à la [Fig.1] illustrant une autre étape du procédé,
- [0087] [Fig.7] la [Fig.7] est une vue similaire à la [Fig.1] illustrant une autre étape du

procédé,

[0088] [Fig.8] la [Fig.8] illustre, en vue de côté, de manière schématique, une autre étape du procédé,

[0089] [Fig.9] la [Fig.9] illustre, en vue de côté, de manière schématique, une pièce comportant un élément surmoulé selon le procédé de l'invention

[0090] [Fig.10] la [Fig.10] est une vue en perspective, schématique, de l'élément de la [Fig.9],

[0091] [Fig.11] la [Fig.11] illustre, en vue de côté, de manière schématique, une autre étape du procédé selon l'invention,

[0092] [Fig.12] la [Fig.12] illustre, en perspective, de manière schématique, un autre exemple de pièce comportant plusieurs éléments surmoulés selon le procédé selon l'invention, et

[0093] [Fig.13] la [Fig.13] illustre, en vue de côté, de manière schématique, un autre exemple d'installation selon l'invention.

Description détaillée

[0094] Dans la suite de la description, les éléments identiques ou de fonctions identiques portent le même signe de référence. A des fins de concision de la présente description, ils ne sont pas décrits en regard de chacune des figures, seules les différences entre les modes de réalisation étant décrites.

[0095] Sur les figures, les proportions réelles n'ont pas toujours été respectées, dans un souci de clarté.

[0096] On a illustré à la [Fig.1] un système 1 selon l'invention, comportant une pluralité de moules 10 et une installation 2 permettant la mise en œuvre du procédé selon l'invention pour surmouler in situ un élément E annexe sur une pièce P à fonctionnaliser.

[0097] La pièce P est, dans cet exemple, positionnée sur un support T.

[0098] La pièce P est, par exemple, une pièce en matériau composite à matrice polymère thermodurcissable.

[0099] L'installation 2 comporte un système de chauffage des moules 10 comportant par exemple une surface chauffante 11 sur laquelle ceux-ci sont posés en attente d'utilisation.

[0100] L'installation 2 comporte un bras robotisé 3, à plusieurs axes, par exemple à 6 axes, auquel une interface 5 est accouplée via un système de raccordement 4. Le bras robotisé a, par exemple, une capacité inférieure à 100 kg.

[0101] L'interface 5 comporte un châssis 110, visible plus particulièrement sur la [Fig.2].

[0102] L'interface 5 comporte au moins un vérin hydraulique 20, représenté schématiquement, agissant entre le bras robotisé 3 et le châssis 110 du moule 10.

- [0103] Comme illustré sur la [Fig.2], l'interface 5 comporte des connecteurs 6 apte à s'accoupler avec des connecteurs 7 du moule 10 pour maintenir le moule 10 solidaire du châssis 110.
- [0104] Les connecteurs 6 et 7 sont par exemple du type broches/ logements correspondants, configurés pour s'accoupler ensemble. Un mécanisme de verrouillage commandé permet de maintenir les connecteurs 6 et 7 accouplés. Ce mécanisme de verrouillage comporte, par exemple, des verrous mobiles 9.
- [0105] Lorsque le bras robotisé 3 et le moule 10 sont désaccouplés, les verrous 9 sont dans une position rétractée. A l'inverse, lorsqu'ils sont accouplés, les verrous 9 sont dans une position étendue et s'engagent au travers de passages correspondants 8 des connecteurs 6 et 7 pour assurer leur maintien en configuration accouplée.
- [0106] Comme illustré sur la [Fig.4], le bras robotisé 3 peut porter, sur l'interface 5, un système d'alimentation 21 en résine pourvu d'un premier connecteur fluide 22 solidaire du châssis 110, s'accouplant avec un deuxième connecteur fluide 23 solidaire du moule 10. Cet accouplement entre les deux connecteurs fluidiques 22 et 23 se fait automatiquement lors de l'accouplement du bras robotisé 3 et du moule 10 et se défait lors de leur séparation.
- [0107] Le premier connecteur fluide 22 comporte, par exemple, un clapet anti-retour permettant d'éviter que la résine ne coule lorsque le moule 10 est déplacé par le bras robotisé 3.
- [0108] Comme visible sur la [Fig.2], le moule 10 comporte une cavité 12 ayant une forme correspondant à l'élément E à réaliser et présentant une ouverture 13.
- [0109] La partie du moule 10 qui définit la cavité 12 est de préférence métallique, notamment en acier.
- [0110] Le moule 10 comporte une lèvre métallique 14, visible sur la [Fig.3], formant saillie sur le moule 10. Cette lèvre métallique 14 a, par exemple, une épaisseur e comprise entre 0,1 mm et 0,5 mm. Elle peut présenter, comme illustré, une section de forme sensiblement triangulaire.
- [0111] Le moule 10 comporte un conduit d'alimentation 25. Comme on peut le voir sur la [Fig.4], le conduit d'alimentation 25 peut comporter un tube 26, portant le connecteur fluide 23, et une buse 27 reliant le tube 26 à un canal d'alimentation 29 de la cavité 12 du moule 10.
- [0112] Le tube 26 est, par exemple, réalisé en silicone ou en polymère résistant à la température à laquelle la résine est chauffée.
- [0113] La buse 27 est, par exemple, réalisée en un matériau métallique et comporte un refroidisseur thermique 28 passif comportant des ailettes.
- [0114] Le moule 10 comporte un conduit de fin de remplissage 30, débouchant dans cet exemple en haut de la cavité 12.

- [0115] Le conduit de fin de remplissage 30 comporte, par exemple, un tube 31 et un évent 32 entre le tube 31 et un canal d'évacuation 35 de la cavité 12.
- [0116] Le tube 31 est par exemple réalisé en silicone ou en polymère résistant à la température à laquelle la résine est chauffée.
- [0117] L'évent 32 peut être réalisé en un matériau métallique et comporter un refroidisseur thermique 33 passif, muni d'ailettes.
- [0118] Le conduit de fin de remplissage 30 est fermé par un bouchon poreux 34 laissant sortir les gaz mais s'opposant au passage de la résine. Ce bouchon poreux 34 permet d'évacuer les gaz présents dans la cavité 12 et qui pourraient sinon former des bulles dégradant la qualité de l'élément E.
- [0119] L'interface 5 peut comporter un détecteur optique 36 pour détecter l'arrivée de la résine dans le conduit de fin de remplissage 30. On profite dans ce cas du fait que le tube 31 est réalisé en silicone transparent. Ce tube 31 est maintenu dans le moule 10 de telle sorte qu'il se positionne à proximité du détecteur 36 lorsque le moule 10 est accouplé à l'interface 5.
- [0120] Dans une première étape du procédé, illustrée sur la [Fig.1], les moules 10 sont préchauffés au poste de chauffage, par exemple à l'aide de la surface chauffante 11 sur laquelle ils ont été posés. Par exemple, les moules 10 sont ainsi préchauffés à une température de 140°C.
- [0121] Dans une deuxième étape, illustrée sur la [Fig.5], le bras robotisé 3 de l'installation 2 vient s'accoupler avec l'un des moules 10 qui a été chauffé. L'accouplement entre le moule 10 et le bras robotisé 3 est réalisé à l'aide de l'interface 5 portée par le bras robotisé 3.
- [0122] Ensuite, dans une troisième étape, illustrée sur la [Fig.6], le bras robotisé 3 déplace le moule 10 et le positionne sur la pièce P, par exemple de manière à ce que la normale n à la surface S de la pièce sur laquelle le moule 10 est positionné forme avec l'horizontale H un angle de 90°.
- [0123] Le moule 10 est positionné sur la pièce P de telle manière que l'ouverture 13 du moule 10 soit fermée par la surface extérieure S de la pièce P.
- [0124] L'étanchéité entre le moule 10 et la pièce P est, dans cet exemple, obtenue à l'aide de la lèvre métallique 14 s'appliquant contre la pièce P.
- [0125] Le moule 10 est maintenu en pression contre la pièce P à l'aide du ou des vérins hydrauliques 20, agissant entre le bras robotisé 3 et le moule 10.
- [0126] En variante ou en complément, le moule 10 peut être maintenu en pression contre la pièce P par l'action d'un champ magnétique traversant celle-ci, le moule 10 étant dans ce cas réalisé en un matériau ferromagnétique, comme cela sera décrit plus loin.
- [0127] Dans une quatrième étape, une résine thermodurcissable est injectée dans le moule 10 maintenu contre la pièce P.

- [0128] A ce moment, la température de la partie métallique qui définit la cavité 12 du moule est encore relativement élevée, du fait de l'inertie thermique de celui-ci, et par exemple supérieure ou égale à 130°C.
- [0129] La résine provenant du système d'alimentation 21 passe au travers du conduit d'alimentation 25 du moule 10.
- [0130] Le refroidisseur thermique 28 permet d'évacuer la chaleur et ainsi éviter que la chaleur ne se propage au-delà de celui-ci dans le tube 26. De cette manière, la résine ne polymérise pas dans le système d'alimentation 21, ce qui permet de réaliser plusieurs injections sans avoir à nettoyer ou à changer le système d'alimentation 21.
- [0131] Ainsi, le remplissage de la cavité 12 se fait par l'injection d'une résine provenant du système d'alimentation 21 et passant par le conduit d'alimentation 25 et le canal d'alimentation 29.
- [0132] L'injection de la résine peut se faire comme illustré à partir du bas de la cavité 12 du moule 10.
- [0133] Le remplissage de la cavité 12 s'effectue jusqu'à ce que la résine atteigne le conduit de fin de remplissage 30, positionné par exemple en haut de la cavité 12.
- [0134] Le refroidisseur thermique 33 permet d'évacuer la chaleur en amont de l'évent 32 et ainsi éviter que la résine ne polymérise dans celui-ci.
- [0135] Le volume de résine injecté est contrôlé par la détection optique, à l'aide du détecteur 36, de l'arrivée de la résine dans le conduit de fin de remplissage 30.
- [0136] Lorsque l'arrivée de la résine dans le conduit de fin de remplissage 30 est détectée, il est possible de continuer encore un peu l'injection afin de réaliser un compactage de la résine injectée dans la cavité 12 du moule 10, en ajoutant une quantité de résine supplémentaire en une ou plusieurs fois, par exemple 1 ml de résine, 2 fois avec un intervalle de 20s, ce qui permet de compenser le retrait de la résine quand elle réticule.
- [0137] En fin d'injection, la température de la partie métallique du moule 10 est par exemple d'environ 100°C. La partie du moule 10 servant à définir la cavité 12 lui confère une capacité thermique suffisante pour que la température dans la cavité 12 du moule 10 soit suffisamment élevée pour polymériser entièrement la résine.
- [0138] Le bras robotisé 3 permet de contrecarrer la pression d'injection de la résine lors du remplissage du moule 10 au contact de la pièce P.
- [0139] La résine est injectée, par exemple, à une pression de 2 bar. L'injection de la résine dans la cavité 12 du moule 10 dure par exemple 2 min.
- [0140] La résine est par exemple une résine poly époxyde chargée avec des particules procurant à la résine une tenue au feu.
- [0141] La polymérisation de la résine dans la cavité 12 du moule est provoquée par la chaleur résiduelle du moule 10, issue de l'étape de préchauffage de moule 10.
- [0142] Une fois une certaine durée écoulée après la détection de la fin de l'injection, par

exemple 4 mn, le maintien en pression du moule 10 sur la pièce P peut être réduit, car la résine a gélifié.

- [0143] Dans une cinquième étape, illustrée sur la [Fig.7], après prise en gel de la résine mais avant polymérisation complète de celle-ci dans le moule, le bras robotisé 3 est séparé du moule 10.
- [0144] Le moule 10 est laissé sur la pièce P et la polymérisation de la résine dans la cavité 12 se poursuit.
- [0145] Après avoir été séparé du moule 10, le bras robotisé 3 est par exemple déplacé afin d'aller s'accoupler avec un second moule 10 présent au poste de préchauffage. Ce second moule 10 sera à son tour positionné sur la pièce P pour réaliser un second élément E.
- [0146] Dans une sixième étape, illustrée sur la [Fig.8], après polymérisation de la résine dans la cavité 12, le bras robotisé 3 est si nécessaire ré-accouplé au moule 10, puis on procède au démoulage de l'élément E.
- [0147] Ce démoulage peut être réalisé par un mouvement du bras robotisé 3 selon un axe D.
- [0148] Ce mouvement du bras robotisé 3 permet de rompre la carotte de résine qui a polymérisé dans le canal d'alimentation 29 et dans le canal d'évacuation 35, et ainsi de libérer l'élément E du moule 10.
- [0149] Cette étape de démoulage se produit, par exemple, 15 min environ après la fin de l'injection.
- [0150] L'élément E obtenu après le démoulage est par exemple tel qu'illustré sur les figures 9 et 10.
- [0151] L'élément E comporte par exemple une base 40 de forme sensiblement circulaire, qui peut comporter des ouvertures permettant de disposer des vis dans les applications où cela est prévu. Sur cette base 40 s'étend un cylindre 42 qui comporte à sa base des nervures de renfort 43, par exemple quatre, de forme sensiblement triangulaire.
- [0152] Dans une septième étape, illustrée sur la [Fig.11], le moule 10 est déplacé dans une zone 45 de re-préparation des moules utilisés pour être remis en service après nettoyage. La cavité 12, le canal d'alimentation 29 et le canal d'évacuation 35 du moule 10 peuvent être nettoyés pour enlever les éventuelles traces de résine. La buse 27 et l'évent 32 sont également nettoyés pour enlever les éventuelles traces de résine et ainsi être réutilisés. Le cas échéant, la buse 27 et l'évent 32 pourront également constituer des consommables de faible coût qui seraient remplacés pour chaque nouvelle pièce. Les tubes 26 et 34 peuvent, quant à eux, être remplacés par de nouveaux.
- [0153] Ainsi, le besoin en consommable de la présente invention reste limité, ce qui tend à réduire l'impact environnemental du procédé.
- [0154] On peut munir une pièce d'éléments E surmoulés dans différentes orientations,

comme illustré sur la [Fig.12]. Dans cet exemple la pièce P comporte deux poutres 100 sur lesquelles les éléments E ont été surmoulés.

- [0155] L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits.
- [0156] En particulier, la pièce peut être de forme quelconque, par exemple présenter une courbure ou comporter un autre matériau, par exemple métallique.
- [0157] Le moule 10 peut comporter une cavité d'une forme différente.
- [0158] Le système peut comporter plus de moules, par exemple entre 3 et 50 moules.
- [0159] Un électroaimant 200 peut être utilisé pour maintenir le moule 10 appliqué contre la pièce P après séparation du bras robotisé 3, comme illustré sur la [Fig.13]. Dans ce cas, le champ magnétique est exercé par l'électroaimant au travers de la pièce P. Il est alors possible une fois le moule 10 correctement positionné par le bras robotisé sur la pièce, d'activer l'électroaimant, de procéder à l'injection de la résine, puis de désaccoupler le bras robotisé et le moule si tôt l'injection terminée, le moule étant maintenu en place contre la pièce par l'électroaimant.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de réalisation d'un élément (E) annexe sur une pièce (P), notamment pour la fonctionnaliser, en particulier une pièce (P) en matériau composite comportant une matrice en matériau polymère thermodurcissable, le procédé comportant les étapes suivantes :
- a. positionner à l'aide d'un bras robotisé (3) un moule (10) sur la pièce (P), le moule (10) comportant une cavité (12) ayant une forme correspondant à l'élément (E) à réaliser, cette cavité (12) présentant une ouverture (13), le moule (10) étant positionné sur la pièce (P) de telle manière que l'ouverture (13) du moule (10) soit fermée par au moins une surface extérieure (S) de la pièce (P),
 - b. injecter une résine thermodurcissable dans le moule (10) maintenu contre la pièce (P) dans des conditions permettant à la résine de polymériser,
 - c. démouler l'élément (E) ainsi surmoulé sur la pièce (P),
- le procédé comportant, avant l'étape a) de positionnement, une étape préalable de préchauffage du moule (10).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la polymérisation de la résine est provoquée par la chaleur résiduelle du moule (10).
- [Revendication 3] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le bras robotisé (3) est utilisé pour transporter le moule (10) entre un poste de préchauffage de celui-ci et la pièce (P).
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le bras robotisé (3) est utilisé pour contrecarrer la pression d'injection de la résine lors du remplissage du moule (10) au contact de la pièce (P).
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le bras robotisé (3) étant séparé du moule (10) après prise en gel de la résine mais avant polymérisation complète de celle-ci.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la cavité (12) du moule (10) est alimentée au travers d'un conduit d'alimentation (25) pourvu d'un refroidisseur thermique (28).
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le remplissage de la cavité (12) s'effectue jusqu'à ce que la résine

atteigne un conduit de fin de remplissage (30), muni de préférence d'un bouchon poreux (34) laissant sortir les gaz mais s'opposant au passage de la résine.

- [Revendication 8] Procédé selon la revendication 7, le volume de résine injecté étant contrôlé par la détection optique de l'arrivée de la résine dans un conduit de fin de remplissage.
- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le moule (10) étant maintenu en pression contre la pièce (P) en utilisant au moins un vérin (20) agissant entre le bras robotisé (3) et le moule (10).
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'étanchéité entre le moule (10) et la pièce (P) étant obtenue à l'aide d'une lèvre métallique (14) formant saillie sur le moule (10) et s'appliquant contre la pièce (P).
- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le bras robotisé (3) portant une interface (5) munie d'un système d'alimentation (21) en résine pourvu d'un premier connecteur fluide (22), le moule (10) comportant un deuxième connecteur fluide (23) apte à s'accoupler avec le premier (22) lorsque le moule (10) est accouplé à l'interface (5).
- [Revendication 12] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le moule (10) étant maintenu en appui contre la pièce (P) par l'action d'un champ magnétique traversant celle-ci.
- [Revendication 13] Installation (2) pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes pour la réalisation d'un élément (E) sur une pièce (P) à l'aide d'un moule (10) comportant une cavité (12) ayant une forme correspondant à l'élément (E) à réaliser, cette cavité (12) présentant une ouverture (13), l'installation (2) comportant :
- un système d'alimentation (21) en résine thermodurcissable du moule (10),
 - un système de chauffage (11) du moule (10),
 - un bras robotisé (3) permettant de déplacer le moule (10).
- [Revendication 14] Installation (2) selon la revendication précédente, le système de chauffage (11) du moule (10) étant dissocié du moule (10).
- [Revendication 15] Moule (10) pour la réalisation d'un élément (E) sur une pièce (P) pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1

à 12 et/ou utilisé dans l'installation (2) selon l'une des revendications 13 et 14, le moule (10) comportant une cavité (12) ayant une forme correspondant à l'élément (E) à réaliser, cette cavité (12) présentant une ouverture (13).

- [Revendication 16] Moule (10) selon la revendication précédente, comportant une lèvre métallique (14) formant saillie sur le moule (10) et entourant l'ouverture (13) de la cavité (12), la lèvre métallique (14) ayant notamment une épaisseur (e) inférieure ou égale à 1 mm, notamment comprise entre 0,1 mm et 0,5 mm.
- [Revendication 17] Interface (5) configurée pour être accouplée à un bras robotisé (3) et à un moule (10) selon l'une des deux revendications précédentes, comportant un connecteur fluidique (22) apte à s'accoupler avec un connecteur fluidique (23) complémentaire sur le moule (10) lorsque le moule (10) est accouplé à l'interface (5) et au moins un vérin (20) permettant de maintenir le moule (10) en pression sur la pièce (P).
- [Revendication 18] Système (1) comportant une pluralité de moules (10) selon l'une des revendications 15 et 16 et une installation (2) selon l'une des revendications 13 et 14.

[Fig. 1]

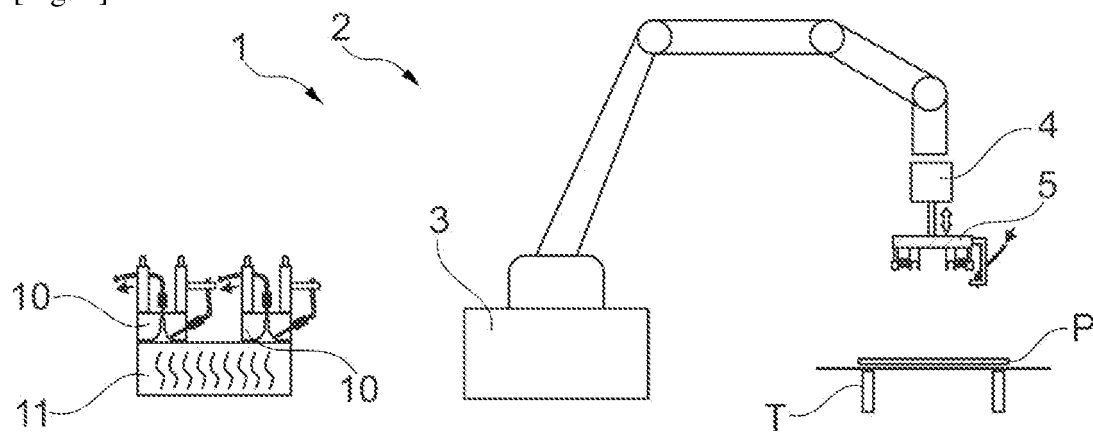


Fig. 1

[Fig. 2]

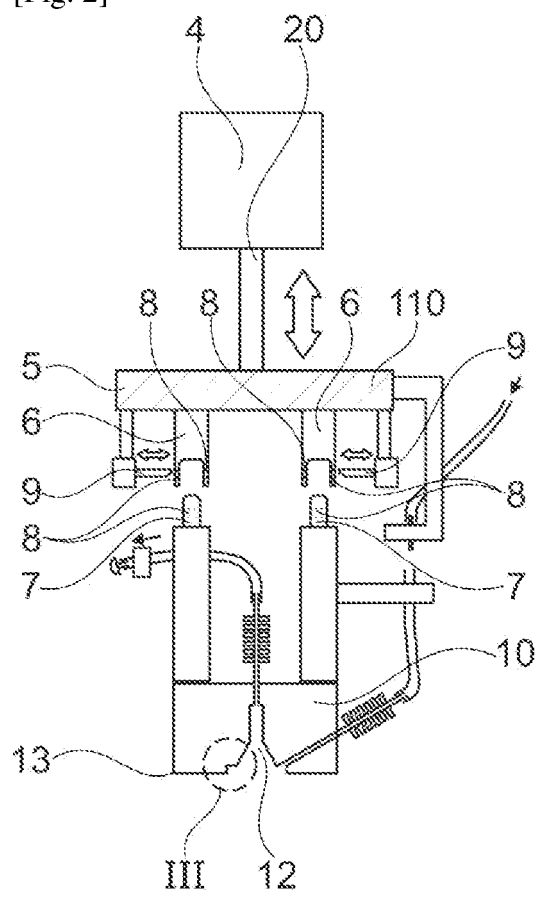


Fig. 2

[Fig. 3]

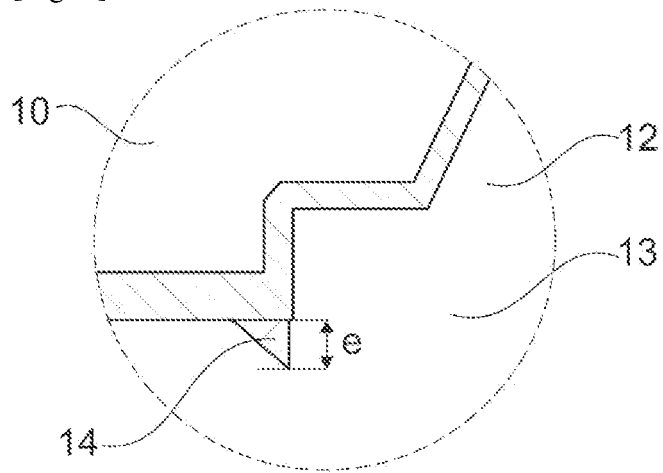


Fig. 3

[Fig. 4]

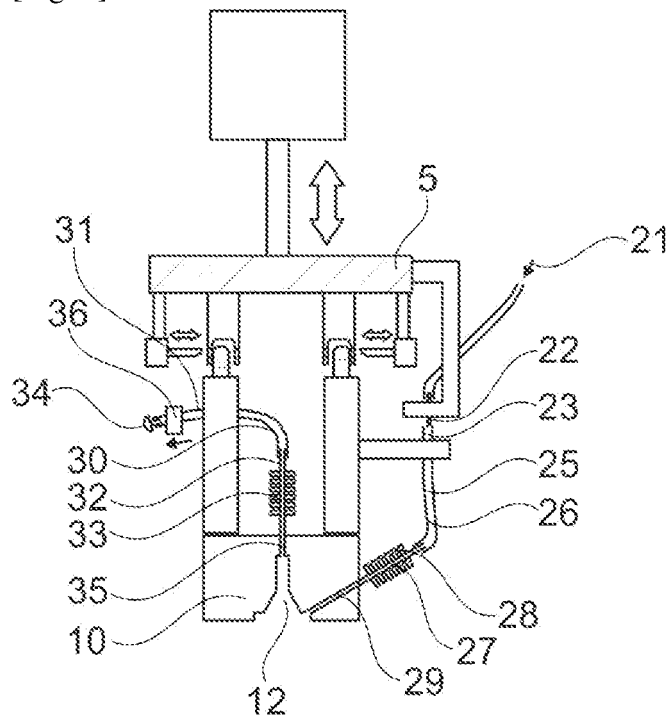


Fig. 4

[Fig. 5]

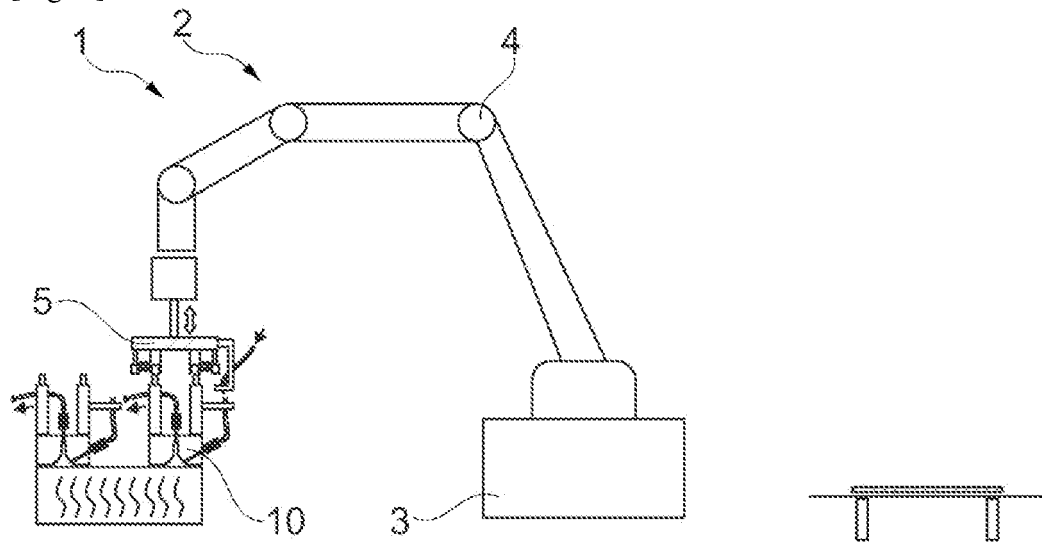


Fig. 5

[Fig. 6]

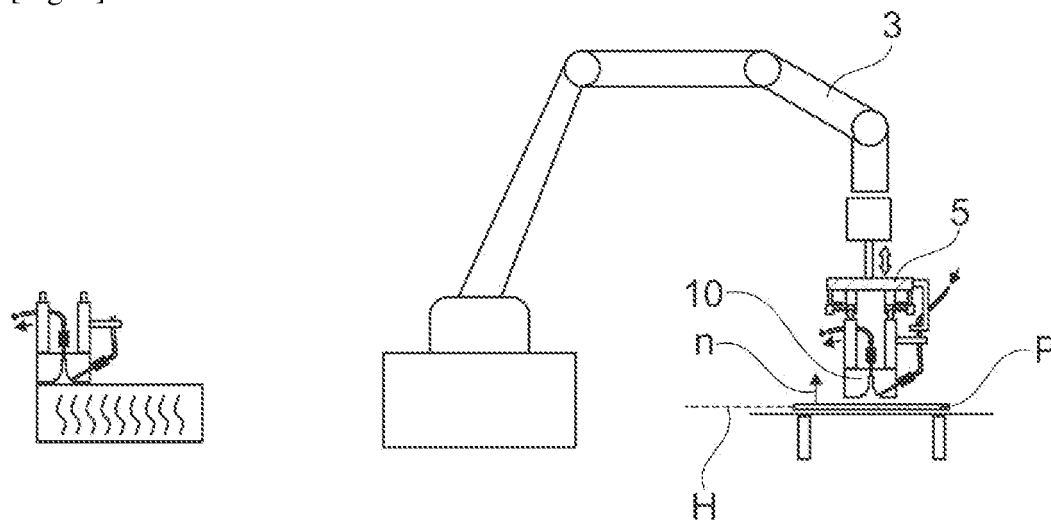


Fig. 6

[Fig. 7]

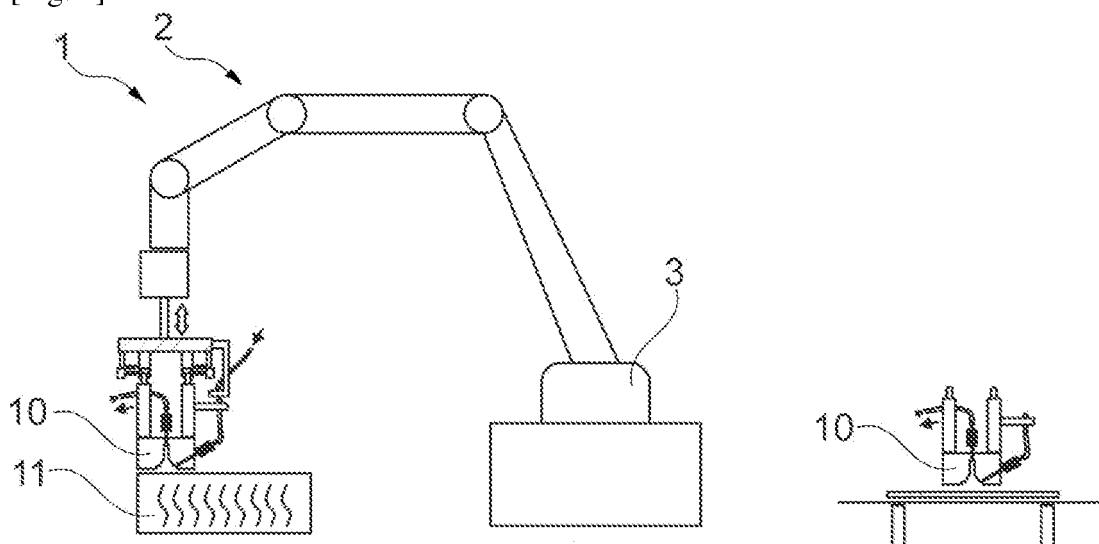


Fig. 7

[Fig. 8]

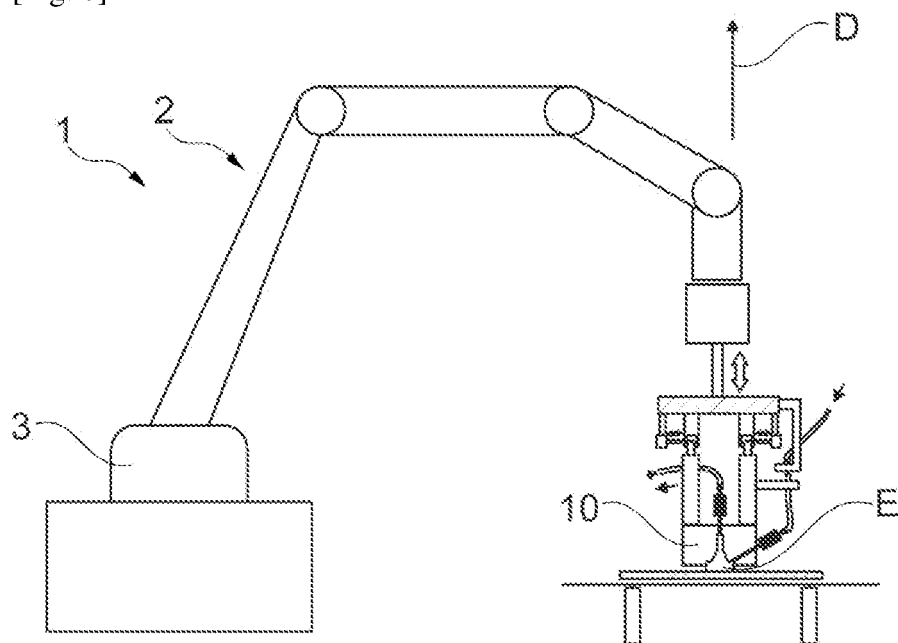


Fig. 8

[Fig. 9]

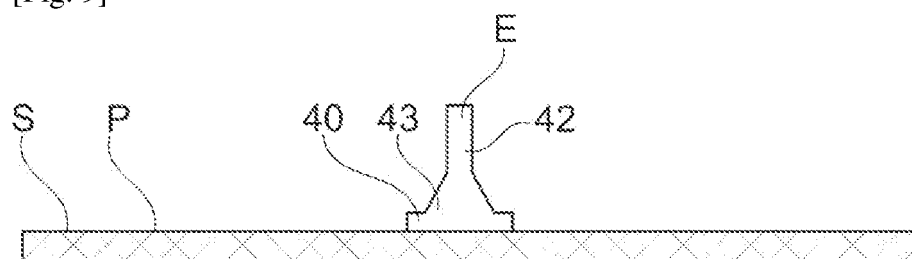


Fig. 9

[Fig. 10]

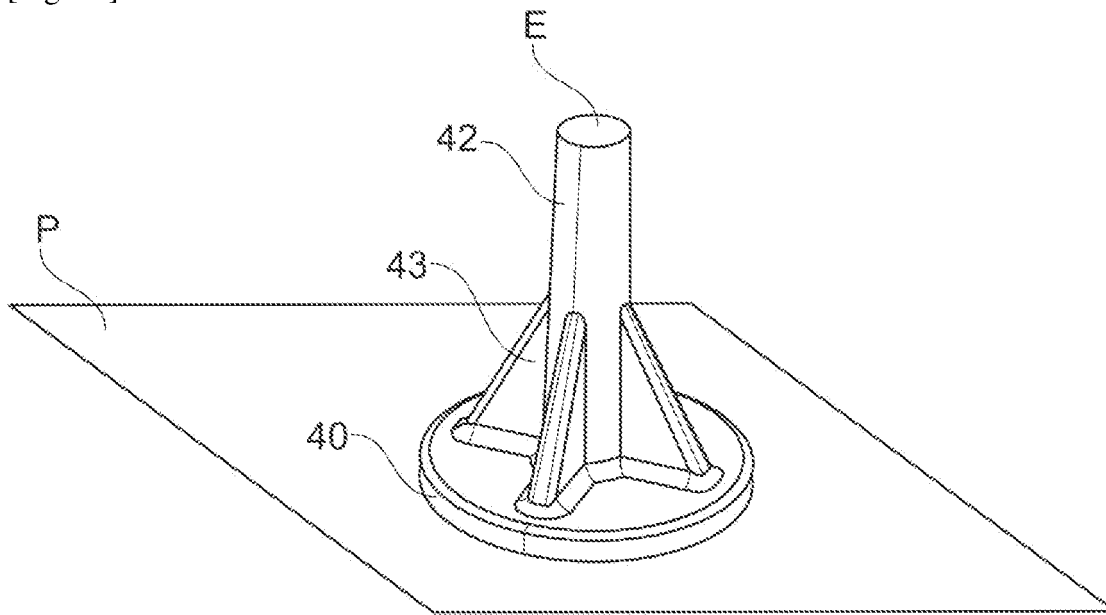


Fig. 10

[Fig. 11]

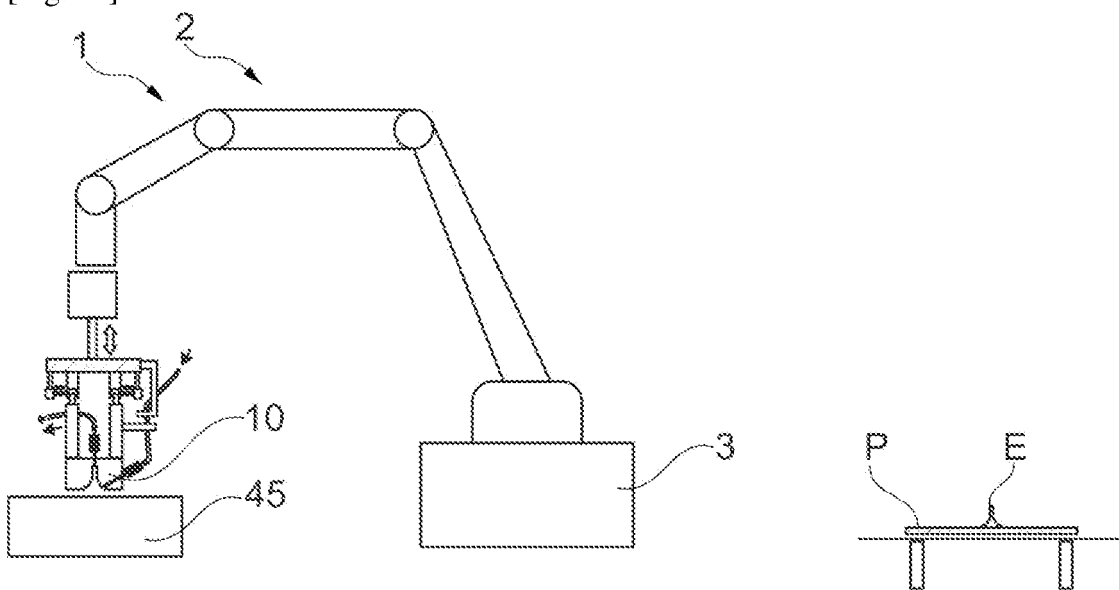


Fig. 11

[Fig. 12]

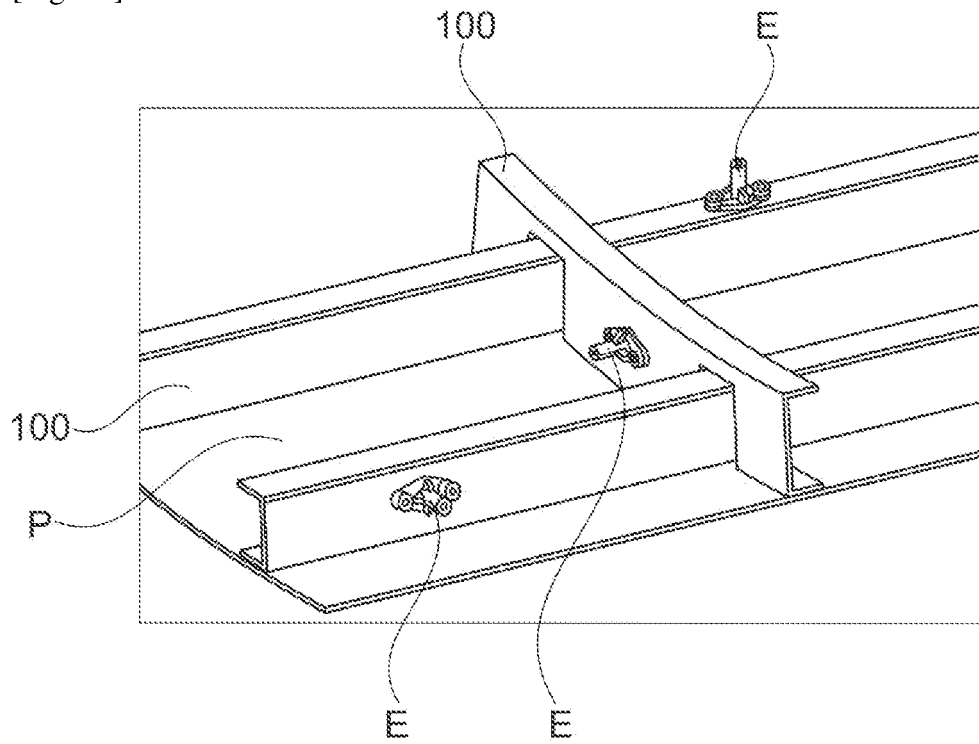


Fig. 12

[Fig. 13]

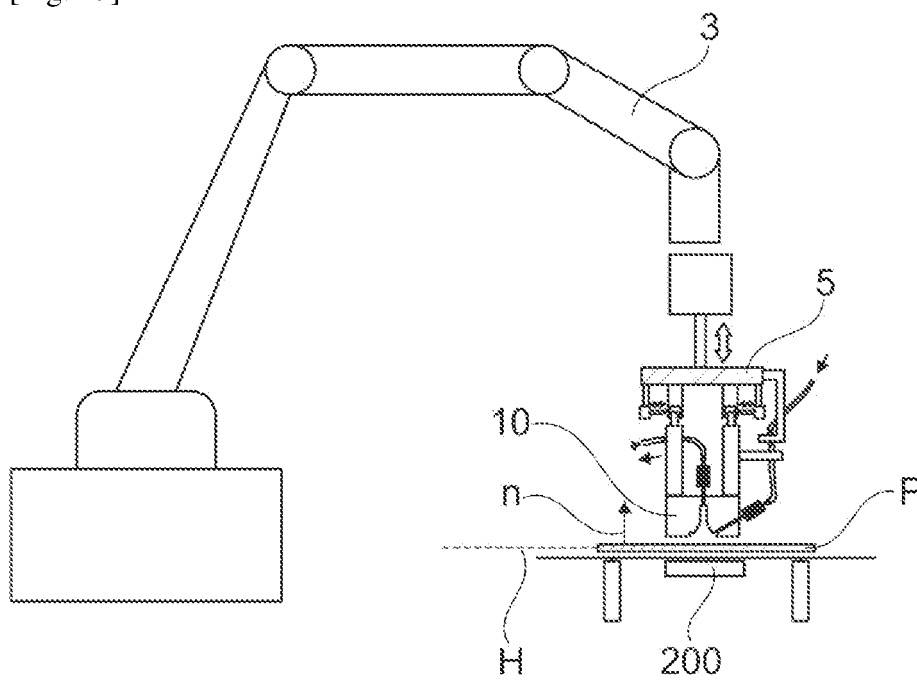


Fig. 13

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

EP 2 908 038 A1 (AIRBUS OPERATIONS GMBH
[DE]) 19 août 2015 (2015-08-19)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

DE 10 2005 014802 A1 (BAYERISCHE MOTOREN
WERKE AG [DE])
14 décembre 2006 (2006-12-14)

DE 10 2017 006863 A1 (INPRO
INNOVATIONSGESELLSCHAFT FUER
FORTGESCHRITTENE PRODUKTIONSSYSTEME)
24 janvier 2019 (2019-01-24)

WO 2020/156639 A1 (COEXPAIR [BE])
6 août 2020 (2020-08-06)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT