



Office de la Propriété

Intellectuelle  
du Canada

Un organisme  
d'Industrie Canada

Canadian  
Intellectual Property  
Office

An agency of  
Industry Canada

CA 2718485 C 2016/11/01

(11)(21) **2 718 485**

(12) **BREVET CANADIEN**  
**CANADIAN PATENT**

(13) **C**

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2009/03/17  
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2009/10/15  
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2016/11/01  
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2010/09/13  
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2009/000280  
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2009/125079  
(30) Priorité/Priority: 2008/03/17 (FR08 51728)

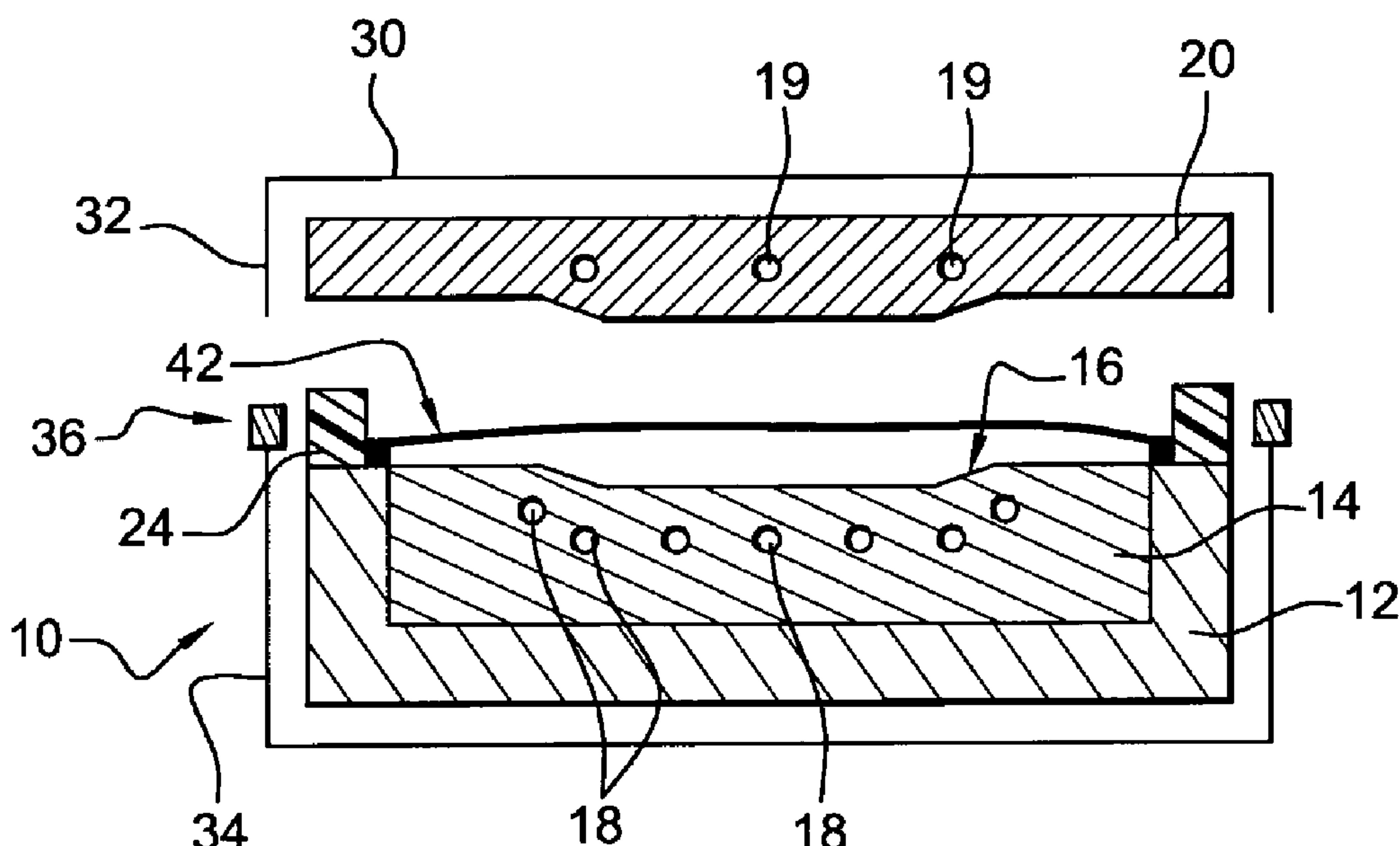
(51) Cl.Int./Int.Cl. *H05B 6/02* (2006.01),  
*B29C 33/06* (2006.01), *B29C 35/08* (2006.01),  
*B29C 43/52* (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:  
FEIGENBLUM, JOSE, FR;  
GUICHARD, ALEXANDRE, FR

(73) Propriétaire/Owner:  
ROCTOOL, FR

(74) Agent: BCF LLP

(54) Titre : DISPOSITIF DE TRANSFORMATION DE MATERIAUX UTILISANT UN CHAUFFAGE PAR INDUCTION ET DES MOYENS DE COMPACTAGE DEFORMABLES  
(54) Title: DEVICE FOR CONVERTING MATERIALS USING INDUCTION HEATING AND DEFORMABLE COMPACTING MEANS



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne un dispositif (10) de chauffage pour la transformation d'un matériau (44), comprenant; un corps de moule inférieur (12), ou matrice, réalisé en un matériau électriquement conducteur et comportant une zone moulante (14) destinée à être en contact avec le matériau à transformer; un corps supérieur (20) dépourvu de zone moulante, réalisé en un matériau électriquement conducteur; des moyens inducteurs (30) pour générer un champ magnétique enveloppant la matrice (12) et le corps supérieur (20); la matrice (12) et le corps (20) étant électriquement isolés l'un par rapport à l'autre lors de la phase de chauffage par induction, afin que les faces en regard de ces deux corps délimitent un entrefer (40) dans lequel circule le champ magnétique qui induit des courants à la surface de la zone moulante (14) de la matrice (12), permettant ainsi de localiser l'action des inducteurs à l'interface zone moulante/matériau à transformer; des moyens de pression déformables (42, 46), disposés entre la matrice (12) et le corps supérieur (20), aptes à exercer une pression uniforme sur le matériau à transformer.

## (12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
15 octobre 2009 (15.10.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale

WO 2009/125079 A3

(51) Classification internationale des brevets :  
*H05B 6/02* (2006.01)      *B29C 33/06* (2006.01)

(74) Mandataire : BEAUV AIS, Emmanuelle; Schmit Chrétien, 16, rue de la Paix, F-75002 Paris (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2009/000280

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(22) Date de dépôt international :  
17 mars 2009 (17.03.2009)

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
08 51728      17 mars 2008 (17.03.2008) FR

(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) :  
ROCTOOL [FR/FR]; Savoie Technolac, F-73370 Le Bourget Du Lac (FR).

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) :  
FEIGENBLUM, José [FR/FR]; 3, rue Vauban, F-38000 Grenoble (FR). GUICHARD, Alexandre [FR/FR]; ferme Pallatin Chat Perché, F-73310 La Chapelle Du Mont Du Chat (FR).

*[Suite sur la page suivante]*

(54) Title : DEVICE FOR CONVERTING MATERIALS USING INDUCTION HEATING AND DEFORMABLE COMPACTING MEANS

(54) Titre : DISPOSITIF DE TRANSFORMATION DE MATERIAUX UTILISANT UN CHAUFFAGE PAR INDUCTION ET DES MOYENS DE COMPACTAGE DEFORMABLES

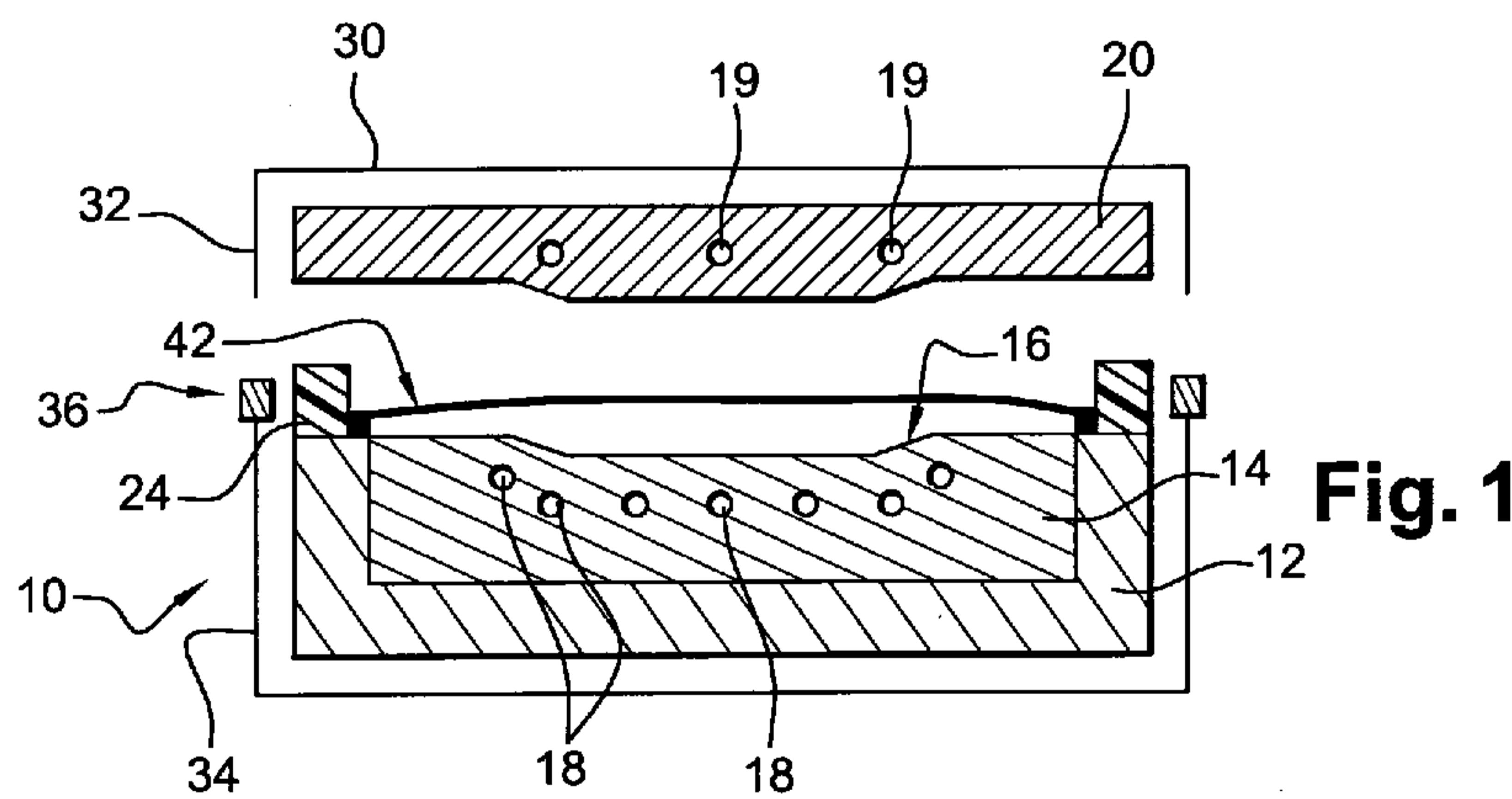


Fig. 1

(57) Abstract : The invention relates to a heater (10) for converting a material (44), comprising a lower mould body (12), or die, made of an electrically conducting material and having a moulding zone (14) intended to be brought into contact with the material to be converted; an upper body (20) having no moulding zone, made of an electrically conductive material; inductor means (30) for generating a magnetic field surrounding the die (12) and the upper body (20); the die (12) and the body (20) being electrically insulated from each other during the induction heating phase, so that the opposing faces of these two bodies define a gap (40) in which the magnetic field circulates, said field inducing currents in the surface of the moulding zone (14) of the die (12), thus making it possible to localize the action of the inductors at the moulding zone/material to be converted interface; and deformable compression means (42, 46) placed between the die (12) and the upper body (20), which are capable of exerting uniform pressure on the material to be converted.

(57) Abrégé :

*[Suite sur la page suivante]*

WO 2009/125079 A3

**WO 2009/125079 A3****Publiée :**

- *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*
- *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h)*

**(88) Date de publication du rapport de recherche internationale :**

26 novembre 2009

L'invention concerne un dispositif (10) de chauffage pour la transformation d'un matériau (44), comprenant; un corps de moule inférieur (12), ou matrice, réalisé en un matériau électriquement conducteur et comportant une zone moulante (14) destinée à être en contact avec le matériau à transformer; un corps supérieur (20) dépourvu de zone moulante, réalisé en un matériau électriquement conducteur; des moyens inducteurs (30) pour générer un champ magnétique enveloppant la matrice (12) et le corps supérieur (20); la matrice (12) et le corps (20) étant électriquement isolés l'un par rapport à l'autre lors de la phase de chauffage par induction, afin que les faces en regard de ces deux corps délimitent un entrefer (40) dans lequel circule le champ magnétique qui induit des courants à la surface de la zone moulante (14) de la matrice (12), permettant ainsi de localiser l'action des inducteurs à l'interface zone moulante/matériau à transformer; des moyens de pression déformables (42, 46), disposés entre la matrice (12) et le corps supérieur (20), aptes à exercer une pression uniforme sur le matériau à transformer.

## **DISPOSITIF DE TRANSFORMATION DE MATERIAUX UTILISANT UN CHAUFFAGE PAR INDUCTION ET DES MOYENS DE COMPACTAGE DEFORMABLES**

La présente invention concerne un dispositif et un procédé utilisant un chauffage par induction et des moyens de pression déformables, notamment dans le but de réaliser la transformation ou le moulage de matériaux, en particulier de matériaux composites à matrice thermoplastique ou thermodurcissable.

Il est connu un dispositif, tel que celui décrit dans la demande internationale n° WO2005/094127, qui permet de localiser le chauffage par induction en surface, de manière à délimiter le chauffage à l'interface moule/matière.

Un tel dispositif comprend des inducteurs entourant deux corps de moule, réalisés en un matériau électriquement conducteur et comportant une zone chauffante destinée à être à proximité de, ou en contact avec le matériau à transformer, les corps de moule étant isolés électriquement l'un par rapport à l'autre. Ainsi, grâce à cette coupure électrique entre les deux corps de moule, les faces en regard de ces derniers délimitent un entrefer dans lequel circule le champ magnétique créé par les inducteurs. Le champ magnétique induit alors des courants électriques en surface des corps de moule, et en particulier à la surface de la zone chauffante de chaque corps de moule, permettant ainsi de localiser le chauffage en surface.

Un tel dispositif permet une montée en température des zones chauffantes très rapide et très importante, étant donné que l'énergie générée par les inducteurs est injectée directement à la surface des zones chauffantes, dans une épaisseur très faible, typiquement quelques dixièmes de millimètre. Il 5 nécessite cependant la fabrication de deux demi-moules répondant à des contraintes mécaniques et d'usinage strictes. Bien que performant, un tel dispositif s'avère donc coûteux.

D'autre part, un tel dispositif présente des performances limitées lorsque l'on souhaite réaliser des pièces géométriquement complexes, 10 notamment celles présentant des formes non développables, et en particulier lorsque celles-ci présentent des surfaces perpendiculaires au plan de joint du moule, ou avec une faible dépouille. En effet, la pièce subit la pression exercée par le demi-moule supérieur (ou poinçon) sur le demi-moule inférieur (ou matrice). Pour cela, la zone moulante du poinçon présente une forme 15 complémentaire de la zone moulante de la matrice, et le poinçon est mobile selon un axe perpendiculaire au plan de joint. Ce mouvement de translation permet d'exercer sur la pièce la pression requise pour les surfaces sensiblement parallèles au plan de joint du moule (i.e. perpendiculaires à la direction de déplacement du poinçon) ou faiblement inclinées par rapport à ce 20 plan. En revanche, en raison de ce mouvement de translation unique, pour les surfaces verticales (i.e perpendiculaires au plan de joint) ou présentant un angle de dépouille faible, le poinçon n'est pas à même d'exercer une pression suffisante pour venir plaquer correctement la pièce sur la zone moulante de la matrice. Cela engendre donc des problèmes de qualité finale de la pièce 25 réalisée (état de surface, résistance mécanique, imprégnation des fibres...)

La présente invention a pour but de pallier les inconvénients de l'art antérieur en proposant un dispositif de chauffage de matériau(x) permettant une montée en température très rapide et contrôlable avec une très grande précision, et permettant de réaliser des pièces géométriquement complexes 30 avec la qualité requise. Ainsi, l'invention concerne un dispositif utilisant un chauffage par induction couplé à un entrefer et équipé de moyens de pression déformables.

Plus précisément, l'invention concerne un dispositif de chauffage pour la transformation d'un matériau, comprenant :

- un corps de moule inférieur, ou matrice, réalisé en un matériau électriquement conducteur et comportant une zone moulante destinée à être en contact avec le matériau à transformer ;

5 - un corps supérieur dépourvu de zone moulante, réalisé en un matériau électriquement conducteur ;

- des moyens inducteurs pour générer un champ magnétique enveloppant la matrice et le corps supérieur ; la matrice et le corps étant électriquement isolés l'un par rapport à l'autre lors de la phase de chauffage par induction, afin que les faces en regard de ces deux corps délimitent un entrefer 10 dans lequel circule le champ magnétique qui induit des courants à la surface de la zone moulante de la matrice, permettant ainsi de localiser l'action des inducteurs à l'interface zone moulante/matériau à transformer ;

15 - des moyens de pression déformables, disposés entre la matrice et le corps supérieur, aptes à exercer une pression uniforme sur le matériau à transformer.

Ainsi, l'invention permet de limiter le chauffage par induction à une surface, afin de localiser le chauffage à l'interface moule/matière, ce qui permet de limiter la consommation d'énergie, et donc d'améliorer le rendement énergétique du dispositif, tout en assurant une pression uniformément répartie 20 sur la pièce. En effet, les moyens de pression, ou de compactage, déformables, assurent une pression isobare sur la pièce indépendamment de la forme de la pièce. La productivité est également augmentée par rapport aux dispositifs connus utilisant des moyens de pression déformables, grâce à des temps de chauffe et de refroidissement diminués, une fraction très faible du volume du 25 moule est soumise au chauffage par induction.

Dans une réalisation, des cales transparentes au champ magnétique assurent l'isolation électrique entre la matrice et le corps supérieur.

Dans une réalisation, les cales isolantes assurent en outre l'étanchéité entre les moyens de pression déformables d'une part, et, d'autre 30 part, la matrice et/ou le corps supérieur.

Dans une réalisation, les moyens de pression comprennent une membrane souple.

Dans une réalisation, la membrane souple est liée de manière étanche à la matrice, des moyens permettant de générer une dépression entre 35 la membrane et la matrice.

Dans une réalisation, la membrane souple est liée de manière étanche au corps supérieur, des moyens permettant de générer une surpression entre la membrane et le corps supérieur.

5 Dans une réalisation, le dispositif comprend des moyens pour générer une dépression entre la membrane et la matrice et des moyens pour générer une surpression entre la membrane et le corps supérieur, ces moyens étant aptes à être actionnés simultanément ou successivement.

10 Dans une réalisation, le dispositif comprend deux membranes souples, la première étant une membrane à dépression, la deuxième étant une membrane à surpression.

Dans une réalisation, les moyens de pression sont solidaires du corps supérieur.

Dans une réalisation, les moyens de pression sont solidaires de la matrice.

15 Dans une réalisation, la zone moulante comprend un composé magnétique, de préférence de perméabilité magnétique relative et de résistivité électrique élevées, par exemple un acier à base de nickel, de chrome et/ou de titane.

20 Dans une réalisation, le reste de la matrice comprend un matériau différent de celui constituant la zone moulante, notamment une matériau amagnétique ou peu magnétique, par exemple un acier inoxydable.

25 Dans une réalisation, la matrice comprend un matériau magnétique, ses faces situées en regard des moyens inducteurs, à l'exception de la surface de la zone moulante, étant recouvertes d'une couche de blindage d'un matériau amagnétique empêchant la pénétration du champ magnétique dans la matrice.

Dans une réalisation, le corps supérieur comprend un matériau amagnétique, de préférence de faible résistivité électrique, tel que de l'aluminium.

30 Dans une réalisation, la zone moulante comprend un réseau de canaux de refroidissement.

Dans une réalisation, le corps supérieur comprend un réseau de canaux de refroidissement.

35 Dans une réalisation, la fréquence F du champ magnétique généré par les moyens inducteurs est au moins égale à 10 kHz et de préférence au plus égale à 100 kHz.

Dans une réalisation, les moyens inducteurs comprennent deux parties séparables, respectivement solidaires de la matrice et du corps supérieur.

Enfin, l'invention concerne également un procédé de fabrication  
5 d'une pièce mettant en œuvre un dispositif tel que défini ci-dessus.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description faite ci-dessous, cette dernière étant effectuée à titre d'exemple non limitatif en faisant référence aux dessins ci-après sur lesquels:

- 10 – les figures 1 et 2 représentent un dispositif selon l'invention ;
- les figures 3 et 4 représentent une variante du dispositif précédent ;
- les figures 5a et 5b montrent deux dispositions différentes des inducteurs pour le dispositif de la figure 2, ces vues correspondant à des coupes simplifiées selon la ligne AA de la figure 2 ;
- 15 – La figure 6 représente une vue en coupe d'une variante du dispositif de la figure 1, la coupe étant réalisée selon une direction analogue aux figures 5a et 5B ;
- Les figures 7a et 7b représentent un détail du dispositif de la figure 6, respectivement dans deux configurations différentes.

20 Le dispositif 10 représenté sur les figures 1 et 2 comporte un corps de moule 12, qui est un demi-moule inférieur, ou matrice. Ce corps de moule 12 est réalisé en un matériau électriquement conducteur, dont une partie 14 constitue une zone chauffante, ou zone moulante. En regard de la zone moulante 14, est disposé un corps supérieur 20 réalisé en un matériau électriquement conducteur et dépourvu de zone moulante. Le corps supérieur 25 20 est mobile par rapport à la matrice selon un axe vertical, perpendiculaire au plan de joint du moule. La fonction première du corps supérieur 20 est de servir de charge électroconductrice afin de former un entrefer entre la matrice 12 et le corps supérieur : il n'a aucune fonction directement liée à la phase de moulage d'un matériau. Ainsi, il n'est jamais directement en contact avec le matériau à 30 mouler, n'exerce pas d'effort sur celui-ci, et, à la différence de la matrice 12, ne présente pas de zone moulante ou chauffante.

Entre la matrice 12 et le corps supérieur 20 est disposée une membrane étanche et souple 42, telle qu'une « bâche à vide », destinée à

mettre un matériau à transformer 44 sous pression, afin de le plaquer contre la surface 16 de la zone moulante 14.

Un réseau d'inducteurs 30, électriquement reliés en parallèle ou en série et connectés à un générateur de courant, est disposé autour de l'ensemble formé par la matrice 12 et le corps supérieur 20. Chaque inducteur 30 comporte une spire conductrice et comprend deux parties 32, 34 séparables. La partie inférieure 34 est solidaire de la matrice 12, tandis que la partie supérieure 32 est solidaire du corps supérieur 20.

La figure 1 montre la matrice 12 et le corps supérieur 20 avant opération, éloignés l'un de l'autre pour permettre la mise en place du matériau à transformer.

Après la mise en place d'un matériau 44, comme représenté sur la figure 2, le corps supérieur 20 est déplacé vers la matrice 12 de manière à délimiter un entrefer de dimensions appropriées. Dans l'exemple, on prévoit à cette fin des cales 24 électriquement isolantes (et donc transparentes au champ électromagnétique) entre le corps supérieur 20 et la matrice 12. Ces cales constituent une butée de référence pour le corps supérieur 20 (qui ne doit pas s'appuyer ou rentrer en contact avec le matériau 44), tout en assurant l'isolation électrique entre ce dernier et la matrice 12 qui est nécessaire au fonctionnement du dispositif. Ainsi la hauteur d'entrefer voulue est obtenue grâce à la hauteur appropriée des cales 24. On peut cependant envisager à la place toute solution alternative, par exemple un contact direct entre le corps supérieur et la matrice, l'un des deux étant revêtu d'un isolant électrique. Dans une variante, les cales 24 permettent également d'assurer l'étanchéité entre la membrane souple 42 et la matrice 12. Elles peuvent dans ce cas prendre la forme d'un cadre circonscrivant le périmètre de la zone de moulage. On pourra réaliser ce cadre dans tout matériau approprié, par exemple en céramique, thermodurcissable, thermoplastique, silicium, etc. En revanche, grâce à la présence des moyens de pression déformables qui seront réalisés dans un matériau électriquement isolant, la zone de moulage ne nécessite pas de précaution particulière, même dans le cas de la transformation de pièces en matériau électriquement conducteur (par exemple celles contenant des fibres de carbone.) Dans le cas où les cales 24 n'assurent pas l'étanchéité entre la matrice 12 et le corps supérieur 20, on prévoit des joints 25 s'appuyant de part et d'autre des cales 24, comme montré sur la figure 6. Dans une variante,

l'étanchéité peut être assurée par la membrane 42 elle-même sans qu'il soit nécessaire de prévoir de joints supplémentaires.

Lors de la phase de transformation, comme montré sur la figure 2, le matériau 44 est enserré et maintenu sous pression contre la surface 16 de la zone moulante 14 de la matrice par la membrane 42, dans laquelle on fait le vide au moyen d'une pompe à vide (non représentée), la matrice comprenant dans ce but un réseau de canaux d'aspiration 17 (visible sur la figure 6). Le corps supérieur 20, non transparent au champ électromagnétique, permet que l'espace délimité par les surfaces en regard de la matrice 12 et du corps 20 constitue un entrefer 40, confinant ainsi la circulation d'un champ magnétique dans cet espace. Ainsi, lorsque les moyens inducteurs comprenant des spires conductrices 30 sont parcourus par des courants électriques li alternatifs de fréquence F, par exemple comprise entre 10 et 100 kilohertz, les inducteurs génèrent un champ magnétique qui enveloppe la matrice 12 et le corps 20.

Le champ magnétique ainsi généré traverse ces deux corps, et circule également dans l'entrefer, c'est-à-dire entre la matrice 12 et le corps supérieur 20. Le champ magnétique induit des courants de sens opposé aux sens des courants li, et la présence de l'entrefer permet de générer des courants induits  $Ic_1$  et  $Ic_2$  qui circulent respectivement à la surface de la matrice et du corps 20. Ces courants induits  $Ic_1$  et  $Ic_2$  ont donc une action thermique exclusivement à la surface de ces deux corps.

Le dispositif selon l'invention est d'autant plus efficace que la présence de l'entrefer 40 a pour effet de concentrer le flux magnétique en son sein, ce qui augmente encore l'action du champ magnétique au niveau des zones moulantes, et donc l'énergie inductive apportée à la surface des zones moulantes. On peut donc chauffer rapidement et localement la surface de la zone moulante 14, directement à l'interface zone moulante/matériau, et non dans l'épaisseur du corps de moule, ce qui représente une économie d'énergie importante, tout en réalisant une mise en pression adéquate de la pièce grâce à la membrane souple.

L'entrefer a également pour effet de limiter l'influence de la géométrie et/ou de la répartition des inducteurs sur le chauffage résultant car l'entrefer 40 a pour effet de répartir uniformément l'énergie apportée par les inducteurs. Ainsi des spires inductrices 30<sub>1</sub> à 30<sub>4</sub> (fig. 5b) réparties irrégulièrement sur une longueur L autour du moule ont pratiquement le même

effet que le même nombre de spires inductrices 30<sub>1</sub> à 30<sub>4</sub> (fig. 5a) réparties régulièrement sur la même longueur. Cette disposition permet de choisir à volonté la répartition des spires inductrices. On rappelle qu'à l'opposé, une configuration classique avec un inducteur à spires et une charge électroconductrice sans entrefer, produit une répartition énergétique inégale, l'énergie injectée présentant un maximum au droit de chaque spire inductive. Cette possibilité d'avoir une répartition inégale des spires d'inducteurs s'avère particulièrement avantageuse car, dans le dispositif objet de l'invention, les spires inductrices entourent le moule, et celui-ci peut être équipé d'un certain 10 nombre d'éléments dépassants, tels que des cales montantes, des éjecteurs, etc.

Outre une répartition idéale de l'énergie injectée, offrant donc une température uniforme à la surface de la zone moulante, la présence de l'entrefer permet également de réguler et piloter très finement cette 15 température. Il est ainsi possible de contrôler très précisément la vitesse de montée en température (en °C/min.), ce qui est nécessaire pour certains matériaux qui nécessitent de respecter des vitesses de montée en température constantes.

Le dispositif selon l'invention présente également l'avantage de 20 diminuer les coûts de conception et de fabrication d'un moule. En effet, le corps supérieur 20 peut être conçu en une pièce monobloc, obtenue par exemple par moulage ou forgeage, et ne nécessite pas d'état de surface particulier, et donc d'usinages coûteux, contrairement à la matrice 12 et plus particulièrement à la zone moulante 14. De plus, celui-ci n'est pas destiné à appliquer de pression 25 sur le matériau à transformer, ce qui n'impose quasiment aucune contrainte quant à la résistance mécanique du corps 20 et laisse une grande liberté dans le choix des matériaux. Dans certains cas, le corps 20 sera en outre d'une épaisseur faible comparée à la matrice 12, ce qui réduit là encore le coût de fabrication du corps 20 et plus généralement du dispositif selon l'invention.

Un autre avantage de l'invention réside dans le fait que, le corps 20 30 n'étant pas destiné à être en contact directement, à chauffer, ou à exercer des efforts avec/sur le matériau à transformer, on garde une grande liberté dans la définition de sa forme : comme le corps 20 ne joue pas le rôle d'un contre-moule, la forme de sa surface 22 située en vis-à-vis de la zone moulante 14 35 peut être indépendante de la forme de la zone moulante (et donc de la pièce

finale). Cette liberté dans la définition de la forme de cette surface 22 permet par exemple de moduler très finement la chauffe obtenue en jouant sur les phénomènes inductifs et résistifs. On peut, notamment, jouer sur la hauteur de l'entrefer pour limiter des sous chaufes ou des surchauffes. Par exemple, 5 comme montré sur la figure 7b, diminuer localement la hauteur de l'entrefer, c'est-à-dire qu'à l'endroit concerné le corps supérieur 20 sera plus proche de la matrice 12 qu'à d'autres endroits, permet d'éviter une sous chauffe locale au niveau de la matrice, la réduction de l'entrefer permettant d'augmenter la concentration du flux magnétique traversant l'entrefer à cet endroit, et donc son 10 effet. On peut ainsi voir, sur les figures 7a et 7b, la circulation du champ magnétique généré par les inducteurs 30, en particulier à l'intérieur de l'entrefer 40. La figure 7a montre un entrefer 40 d'épaisseur constante et l'on voit que lorsque celui-ci n'est pas rectiligne, les lignes de flux sont plus concentrées à l'intérieur de la courbe décrite par l'entrefer qu'à l'extérieur, du fait que le flux 15 magnétique emprunte le chemin de moindre reluctance. Il se produit donc des surchauffes et des sous-chauffes à ces endroits courbes, respectivement à l'intérieur et à l'extérieur de la courbe. La figure 7b montre un entrefer 42 d'épaisseur non constante, en particulier d'épaisseur modifiée aux endroits où l'entrefer décrit une courbe. Selon les cas, une augmentation ou une diminution 20 de cette épaisseur permet de corriger la répartition non homogène du flux magnétique constaté à la figure 7a.

Le matériau amagnétique utilisé pour constituer le corps 20 a, de préférence, une faible résistivité électrique, comme par exemple le cuivre ou l'aluminium. Cela permet d'éviter au maximum les pertes énergétiques. En 25 effet, le corps 20 étant électriquement conducteur, il est parcouru par des courants induits par le champ magnétique, mais la quasi-totalité de l'énergie générée par les inducteurs est injectée dans la matrice. Par exemple, si le corps 20 est en aluminium, l'énergie qu'il reçoit représente environ 5% de l'énergie injectée dans la matrice 12.

30 Afin de minimiser les pertes d'énergie dans la matrice 12, la zone moulante 14 comprend un matériau magnétique présentant éventuellement un point de Curie, tandis que le reste de la matrice 12 comprend un composé amagnétique ou peu magnétique. Le matériau magnétique constituant la zone moulante 14 présente de préférence une résistivité électrique plus importante 35 que celle du cuivre, comme par exemple des alliages d'acier à base de nickel,

de chrome et/ou de titane. Une résistivité électrique importante de la zone moulante constitue un avantage car elle permet un chauffage par induction plus efficace. Cependant, il est à noter que la perméabilité magnétique du matériau influe également sur le rendement du chauffage par induction. Le reste de la 5 matrice 12 comprend un matériau réalisant un bon compromis entre caractéristiques mécaniques et propriétés magnétiques et électriques. En effet, afin de limiter les pertes énergétiques et de concentrer toute l'action du chauffage au niveau de la surface 16 de la zone moulante 14, le matériau constituant la matrice 12 doit être aussi peu magnétique et résistif que possible, 10 tout en présentant la résistance mécanique nécessaire aux efforts importants et répétés des phases de moulage. A ce titre, l'acier inoxydable et le cuivre représentent un compromis intéressant.

Dans une variante représentée à la figure 6, la matrice pourra être réalisée selon la méthode décrite dans la demande internationale n° 15 2007/031660, la matrice 12, ainsi que la zone moulante 14, étant constituée intégralement d'un matériau magnétique, les faces de celle-ci situées en regard des moyens inducteurs étant recouvertes d'une couche 12<sub>1</sub> de blindage en un matériau amagnétique tel que du cuivre, à l'exception de la surface 16 de la 20 zone moulante 14. Dans cette configuration, le blindage est tel que son épaisseur est supérieure à la profondeur de pénétration du champ électromagnétique. Ainsi, les courants induits circulent dans la couche de blindage, provoquant peu d'échauffement et peu de pertes énergétiques, sauf à l'endroit de la surface de la zone moulante, où le matériau est très réactif au chauffage par induction.

25 Lorsque le matériau constituant la zone moulante 14 présente un point de Curie, à une température proche de ce point de Curie, le matériau perd ses propriétés magnétiques et le chauffage par induction diminue fortement, ce qui est une des possibilités pour réguler la température de chauffage autour du point de Curie.

30 Le dispositif représenté sur les figures 1 et 2 est pourvu d'un système de refroidissement pour permettre la réalisation ou la transformation de pièces par chauffage à cadence élevée, le refroidissement étant mis en œuvre entre deux traitements. A cet effet, on prévoit dans la matrice 12 de la zone moulante 12, un réseau de canaux 18 permettant de faire circuler un 35 liquide de refroidissement à proximité des surfaces moulantes. Le

refroidissement ainsi obtenu est très performant, d'une part parce que le corps de moule métallique est thermiquement très conducteur, et d'autre part parce que les canaux peuvent être disposés au plus près de la surface 16 de la zone moulante 14. On réalise donc un refroidissement très performant car rapide et homogène sur l'ensemble de la pièce. Cette dernière particularité revêt une importance cruciale pour certains matériaux tels que le polyester, pour lesquels des problèmes de relâchement de contraintes se posent lors du refroidissement si la pièce n'est pas maintenue en forme pendant tout le temps du refroidissement (pièce vrillée, etc.) On supprime donc pour certains matériaux une étape entière de production, dite étape de conformage, nécessitant par exemple un châssis de maintien, une étuve pour une descente en température contrôlée, etc.

Le corps supérieur 20 est de préférence également pourvu d'un réseau de canaux de refroidissement 19, mais ce réseau est destiné principalement à refroidir le corps supérieur 20 lorsque celui-ci s'échauffe au fur et à mesure des cycles. En pratique, l'élévation de température du corps supérieur 20 sera plutôt lente et on pourra mettre en œuvre le refroidissement en œuvre périodiquement, après un certain nombre de cycles de chauffage.

Les inducteurs 30 sont en deux parties 32, 34 séparables et soladires respectivement de la matrice 12 et du corps supérieur 20, ce qui permet une extraction rapide de la pièce 44 après moulage, et contribue donc à une fabrication à cadence élevée. Lors de la transformation d'un matériau, la continuité électrique entre les deux parties 32, 34 du réseau d'inducteurs est assurée par des contacteurs électriques 36.

La figure 3 représente une variante de l'invention, dans laquelle la membrane souple est solidaire du corps supérieur 20 et non plus de la matrice 12. Dans cette configuration, la membrane souple est plaquée contre la matrice et la pièce à transformer par surpression, c'est-à-dire par gonflage. La membrane est dans ce but élastique et à même de supporter des pressions importantes, par exemple comprise entre 1 et 15 bars, permettant ainsi d'appliquer des efforts importants sur la pièce à transformer sans nécessiter l'utilisation de moyens mécaniques importants (presse, etc.) On peut également employer des baudruches gonflables qui présentent une forme adaptée à la zone moulante dans le cas de formes très complexes. Dans cette configuration, le corps supérieur 20 présente des canaux 26 permettant de mettre en

communication l'espace compris entre la membrane 46 et la surface 22 du corps 20 avec une source de pression (non représentée). Afin de favoriser un refroidissement rapide tout en maintenant une pression sur la pièce, on pourra envisager que la source de pression permette de générer une circulation d'air à la pression désirée à l'intérieur de la membrane. On pourra par exemple à cet effet réaliser un canal d'entrée et un canal de sortie de l'air, ce dernier étant équipé d'un limiteur de pression taré à la pression minimale désirée, tandis que la source de pression fournit un air à une pression significativement plus élevée.

Pour réaliser la membrane 46, on pourra utiliser par exemple des matériaux tels que le silicone, ou des thermoplastiques supportant une déformation relative de 100% ou plus. De préférence, le matériau utilisé devra supporter des températures de l'ordre de 300°C.

Si l'on souhaite mettre en œuvre des procédés avec transfert de résine, de type RTM, on pourra prévoir un réseau de canaux d'entrée 17<sub>1</sub> de la résine, comme montré sur la figure 6, le réseau de canaux d'aspiration 17 servant dans ce cas également à évacuer la résine. Les canaux d'entrée et de sortie de résine seront disposés de manière à favoriser un remplissage et une répartition de la résine optimaux. Dans l'exemple de la figure 6, ceux-ci sont situés sur des côtés opposés de la matrice 12.

Dans une variante, on pourra utiliser deux moyens de compactage en combinaison : une membrane gonflable disposée sur le corps supérieur 20 avec une membrane à dépression disposée sur la matrice 12. Une telle configuration sera notamment utile pour contrôler le niveau de porosité de la pièce finie. En effet, on faisant le vide sous la membrane à dépression avant d'exercer une pression importante avec la membrane gonflable, on pourra exercer des efforts importants sur la pièce tout en évitant que de l'air s'infiltre dans celle-ci. Dans ce même but, on pourra également utiliser une membrane unique, réalisée dans un matériau unique ou comprenant au moins deux couches de deux matériaux différents, cette membrane unique étant soumise à la fois à une dépression et à une surpression.

Dans une variante, on pourra prévoir de fixer la membrane à dépression 42 sur le corps supérieur 20. Ainsi la mise en place et l'enlèvement de la membrane 42 sont simplifiés, son déplacement étant lié à celui du corps 20.

De façon classique, des moyens mécaniques (non représentés) d'éjection de la pièce fabriquée sont également prévus.

**REVENDICATIONS**

1. Dispositif de chauffage pour la transformation d'un matériau, comprenant :

- un corps de moule inférieur, ou matrice, réalisé en un matériau électriquement conducteur et comportant une zone moulante en matériau magnétique destinée à être en contact avec le matériau à transformer;
- 5 - un corps supérieur dépourvu de zone moulante, réalisé en un matériau électriquement conducteur amagnétique de faible résistivité électrique;
- des moyens inducteurs pour générer un champ magnétique enveloppant la matrice et le corps supérieur,
- 10 - des cales électriquement isolantes et transparentes au champ magnétique enveloppant la matrice et le corps supérieur, disposées entre la matrice et le corps supérieur de manière à ménager un entrefer entre les faces en regard de ladite matrice et dudit corps supérieur, ledit entrefer étant maintenu pendant le chauffage et la transformation du matériau à transformer,
- 15 le champ magnétique circulant dans l'entrefer induisant des courants à la surface de la zone moulante de la matrice, permettant ainsi de localiser l'action des inducteurs à l'interface zone moulante/matériau à transformer;
- des moyens de pression déformables, disposés entre la matrice et le corps supérieur, aptes à exercer une pression uniforme sur le matériau à transformer, pour le plaquer contre la zone moulante, le corps supérieur n'étant pas destiné à être en contact directement, à chauffer ou à exercer des efforts avec/sur le matériau à transformer.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les cales isolantes assurent en outre l'étanchéité entre les moyens de pression déformables d'une part, et, d'autre part, la matrice et/ou le corps supérieur.

3. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens de pression déformables comprennent une membrane souple.

4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel la membrane souple est liée de manière étanche à la matrice et qui comprend des moyens permettant de générer une dépression entre la membrane souple et la matrice.

30 5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel la membrane souple est liée de manière étanche au corps supérieur et qui comprend des moyens permettant de générer une surpression entre la membrane souple et le corps supérieur.

6. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel les moyens pour générer une dépression entre la membrane souple et la matrice et les moyens pour générer une surpression entre la membrane souple et le corps supérieur, sont aptes à être actionnés simultanément ou successivement.

5 7. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens de pression déformables comprennent deux membranes souples, la première étant une membrane à dépression, la deuxième étant une membrane à surpression.

10 8. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens de pression déformables sont solidaires du corps supérieur.

9. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens de pression déformables sont solidaires de la matrice.

15 10. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la zone moulante de la matrice comprend un composé magnétique sous la forme d'un acier à base de nickel, de chrome et/ou de titane de perméabilité magnétique relative et de résistivité électriques élevées.

11. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel le reste de la matrice comprend un matériau un acier inoxydable amagnétique ou peu magnétique différent de celui constituant la zone moulante.

20 12. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la matrice est constituée d'un matériau magnétique, ses faces situées en regard des moyens inducteurs, à l'exception de la surface de la zone moulante, étant recouvertes d'une couche de blindage d'un matériau amagnétique empêchant la pénétration du champ magnétique dans la matrice.

25 13. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le corps supérieur est constitué d'un matériau amagnétique de faible résistivité électrique.

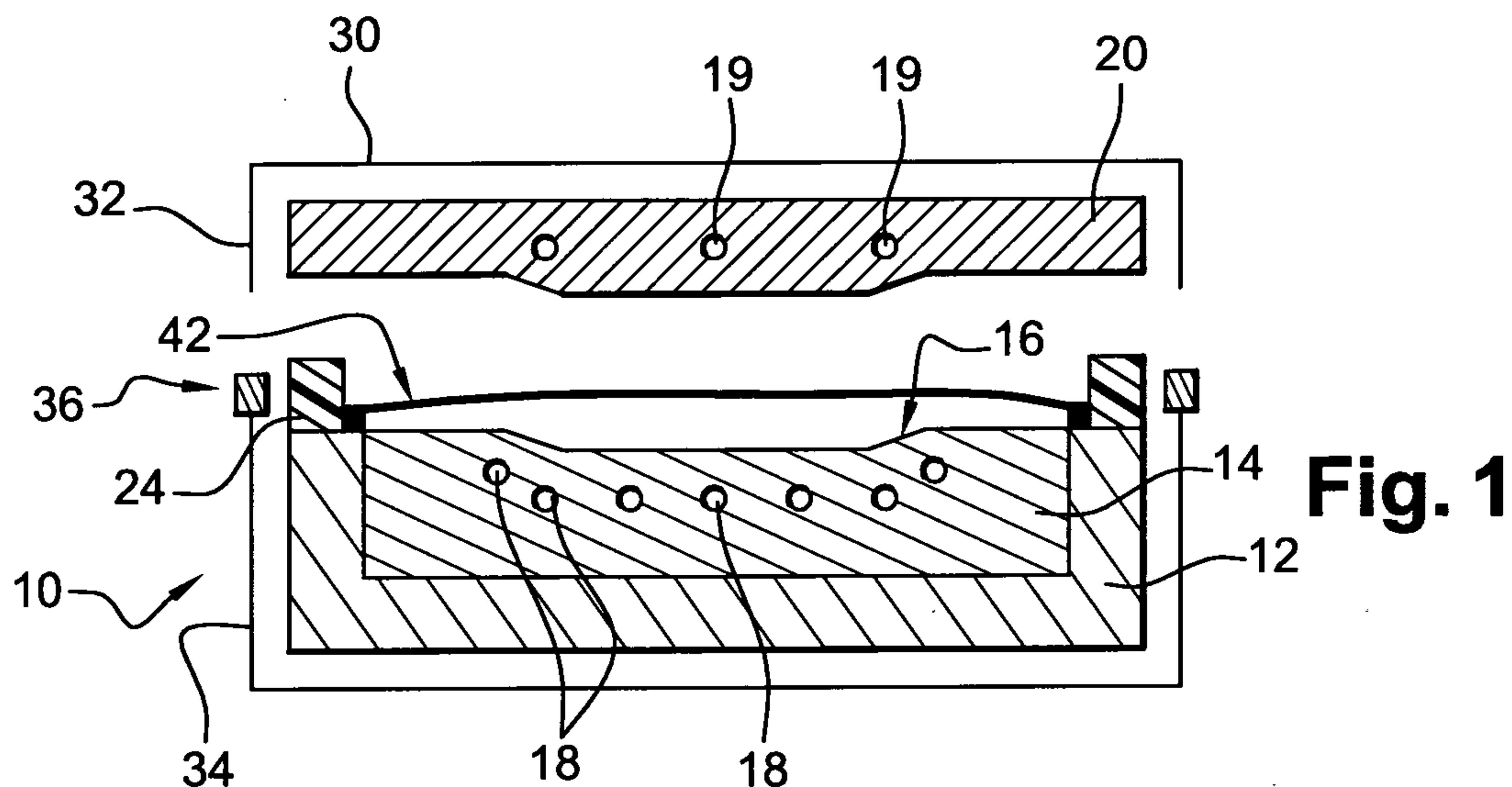
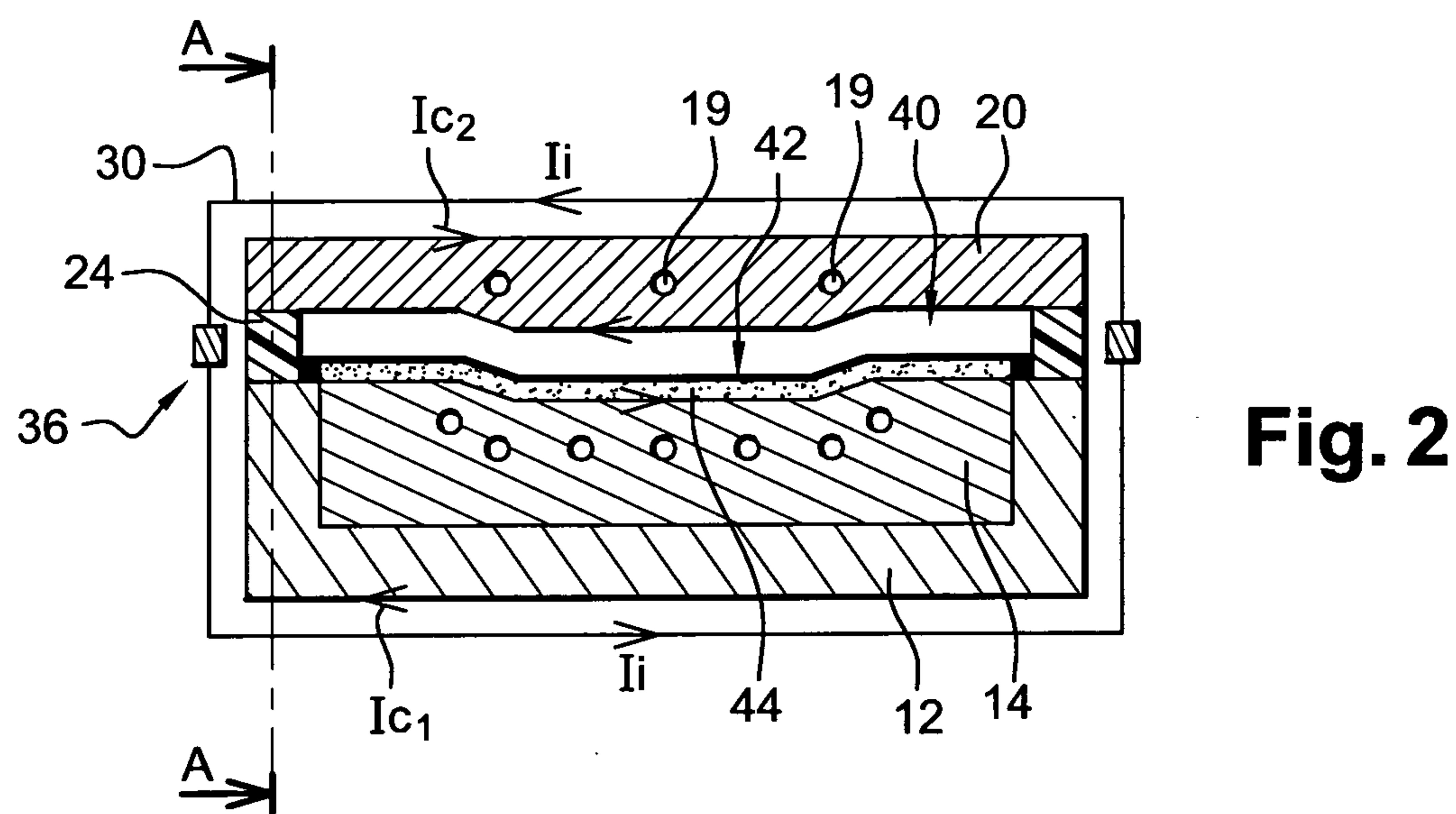
14. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la zone moulante comprend un réseau de canaux de refroidissement.

30 15. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le corps supérieur comprend un réseau de canaux de refroidissement.

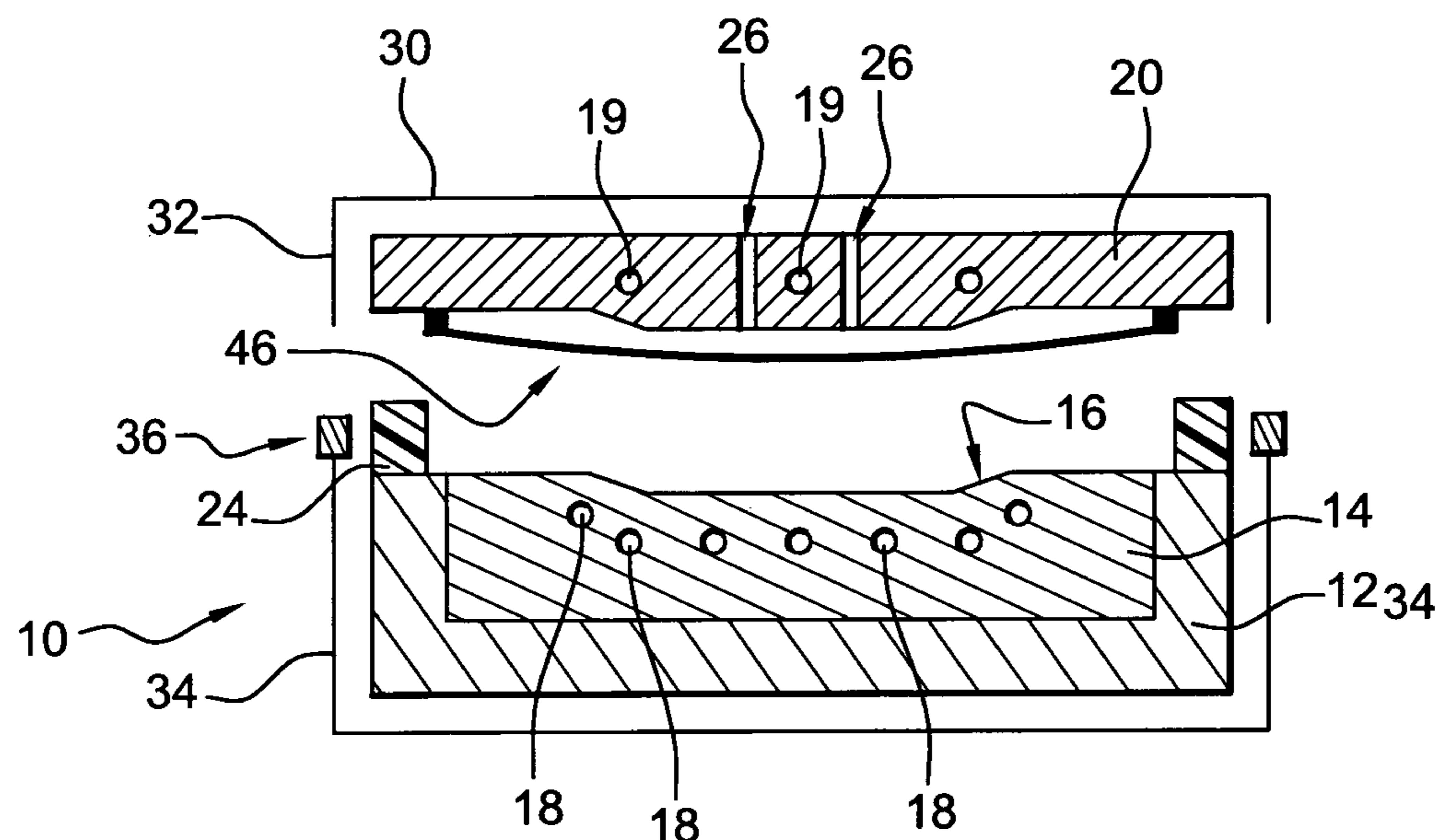
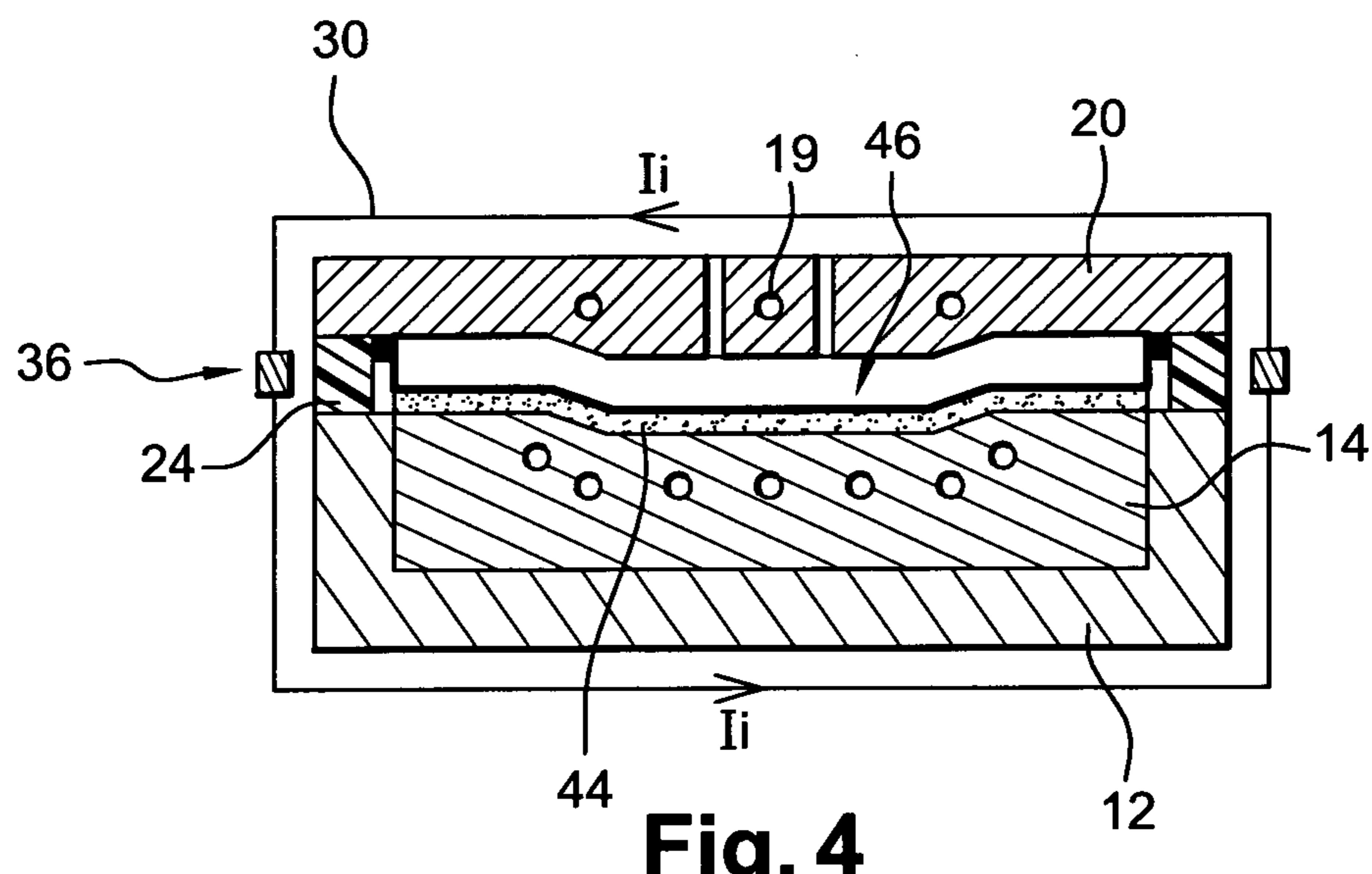
16. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel une fréquence F du champ magnétique généré par les moyens inducteurs est au moins égale à 10 kHz et au plus égale à 100 kHz.

17. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens inducteurs comprennent deux parties séparables, respectivement solidaires de la matrice et du corps supérieur.

1/3

**Fig. 1****Fig. 2**

2 / 3

**Fig. 3****Fig. 4**

3 / 3

