

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

**N° 82 02344**

⑤④ Procédé et appareillage pour le moulage d'alliages métalliques à l'état thixotropique.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). B 22 D 13/06, 27/08.

⑫② Date de dépôt..... 12 février 1982.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 33 du 19-8-1983.

⑦① Déposant : ASSOCIATION POUR LA RECHERCHE ET LE DEVELOPPEMENT DES METHODES  
ET PROCESSUS INDUSTRIELS (ARMINES). — FR.

⑦② Invention de : Jean Collot.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Boettcher,  
23, rue La Boétie, 75008 Paris.

L'invention se rapporte au moulage des alliages métalliques qui ont été mis au cours de leur élaboration à l'état de suspension thixotropique.

On réalise une suspension de ce genre en chauffant un alliage métallique jusqu'à une température nettement supérieure à la température du liquidus afin qu'il soit totalement à l'état liquide, puis on l'agite pendant qu'on laisse sa température s'abaisser à une valeur intermédiaire comprise entre ladite température du liquidus et la température du solidus. Les dendrites qui tendent à se former pendant ce refroidissement sont transformées par l'agitation en globules de forme approximativement sphéroïdale.

Cet état de la technique est illustré par les brevets américains n<sup>os</sup> 3 902 544 et 3 948 650.

Dans le premier (n<sup>o</sup> 3 902 544) de ces brevets, il est indiqué que l'alliage métallique thixotropique peut être coulé en continu sous forme d'un lingot, ou qu'il peut être moulé sous pression dans un moule métallique sous l'effet d'un piston poussé par un vérin, ou encore qu'il peut être mis à une forme définitive désirée par compression entre les deux parties d'une matrice d'estampage.

Dans le second de ces brevets, il est envisagé de couler l'alliage thixotropique dans des lingotières afin d'obtenir des lingots. Ces derniers peuvent, ensuite, être réchauffés à nouveau à une température intermédiaire comprise entre les températures du solidus et du liquidus puis mis à la forme des pièces désirées par un procédé tel que l'estampage ou le forgeage.

Il est avantageux de mettre les alliages métalliques à leur forme définitive à partir d'une suspension thixotropique parce que le retrait entre la température intermédiaire à laquelle ils sont mis en forme et leur température finale à l'état solide est moins important, de sorte que l'on diminue considérablement le risque de retassure et de fissuration au cours du refroidissement.

Le mérite de l'invention repose sur le fait d'avoir compris qu'il est possible de couler un alliage à l'état thixotropique directement dans un moule sous l'effet de la force centrifuge. On évite ainsi de passer par l'étape  
5 intermédiaire de la coulée d'un lingot qui a les inconvénients suivants :

- consommation supplémentaire d'énergie pour réchauffer les lingots,
- lenteur du processus qui s'opère en deux étapes,
- 10 - mise en forme finale entraînant à nouveau une assez forte consommation d'énergie.

On évite aussi l'emploi de moyens de mise en forme qui nécessitent un outillage encombrant et coûteux et qui sont consommateurs d'énergie, comme le moulage par  
15 injection sous pression et l'estampage.

Conformément à l'invention, on combine dans un procédé nouveau une opération de préparation dans un creuset d'un alliage à l'état thixotropique à l'aide d'un moyen d'agitation de type mécanique ou autre; au creuset est  
20 associé un moule ayant une cavité qui représente la pièce désirée; quand l'alliage est à l'état voulu, on entraîne l'ensemble moule-creuset en rotation à une vitesse qui provoque le transvasement de l'alliage entre le creuset et le moule sous l'effet de la force centrifuge.

25 De préférence, on chauffe le moule à la température de l'alliage à l'aide d'un four amovible que l'on écarte avant la mise en rotation de l'ensemble moule-creuset.

L'invention concerne aussi un appareillage permettant la mise en oeuvre du procédé défini ci-dessus.

30 Cet appareillage est du type à centrifugation généralement appelé fronde comprenant un creuset monté pour être entraîné en rotation autour d'un axe vertical, un moule accolé à ce creuset au moins pendant la rotation; selon l'invention cet appareillage comprend un moyen d'agitation  
35 de l'alliage contenu dans le creuset disposé avec une possibilité de dégagement rapide hors de ce dernier; de préférence un four chauffant mobile est disposé, en outre, pour contenir le moule et le chauffer avant la coulée et pour être écarté de ce moule avant l'entraînement en rotation.

On donnera maintenant une description d'un exemple de réalisation de l'invention et d'une variante qui peut lui être apportée. On se reportera aux dessins annexés dans lesquels :

- 5 - la figure 1 est une vue générale d'un exemple préféré d'une installation conforme à l'invention ,
  - les figures 2 et 3 sont respectivement des vues agrandies de détail montrant deux modes de réalisation d'éléments d'agitation utilisables dans l'installation
- 10 de la figure 1 ,
  - les figures 4a, 4b, 4c sont des vues de détail montrant à diverses positions pendant l'utilisation les pièces principales de l'appareillage de l'invention ,
  - les figures 5a, 5b, 5c sont des vues analogues à celles
- 15 des figures 4a, 4b, 4c montrant une variante de réalisation,
  - les figures 6a, 6b sont des vues respectives des deux moitiés d'un moule montrant le résultat d'une coulée effectuée avec une machine de centrifugation classique sans application du procédé de l'invention ,
- 20 - la figure 7 est une vue analogue à la figure 6a d'une moitié d'un moule montrant le résultat d'une coulée effectuée avec la machine de centrifugation de la figure 1 avec application du procédé de l'invention ,
  - la figure 8 est une vue en coupe selon VIII-VIII de
- 25 la pièce retirée du moule de la figure 7.

Un appareillage conforme à l'invention comprend une machine de coulée centrifuge du type fronde, connue en soi, que l'on ne décrira donc pas en détail. Une telle machine comprend un arbre 1 à axe vertical accouplé en

30 rotation à un moteur électrique 2. A l'extrémité supérieure de cet arbre 1 est calé en rotation dans un plan horizontal un équipement tournant 3 qui présente sur un côté de l'arbre 1 un étrier 4 entre les branches duquel un creuset 5 est supporté par un arbre transversal horizontal 6. Deux

35 contrepoids 7 s'élèvent à partir de l'arbre 6 à l'opposé du creuset 5. A l'extrémité de l'étrier 4 est monté entre ses deux branches un moule 8 disposé horizontalement avec son ouverture 10 tournée vers le creuset 5. A l'opposé de

l'étrier 4, de l'autre côté de l'arbre 1, l'équipement tournant 3 comprend un contrepoids général 11. Le creuset 5 et le moule 8 sont disposés de façon que, quand l'équipement 3 est entraîné en rotation par le moteur 2, les contrepoids 7 s'inclinent vers l'extérieur et font prendre progressivement au creuset 5 une position horizontale avec son ouverture 12, qui était tournée vers le haut, dirigée vers le moule 8 et se trouvant en face de l'ouverture 10 de ce dernier. A ce moment, le contenu du creuset 5 est transvasé dans le moule 8.

10 Au creuset 5 est associé, en dessous de l'équipement tournant 3, un inducteur 13 qui met en fusion le contenu de ce creuset et qui peut être escamoté vers le bas pour permettre la rotation et la coulée centrifuge décrite ci-dessus.

Pour mesurer la température de la masse en fusion à l'intérieur du creuset 5, on peut se servir d'un pyromètre optique ou, comme le montre la figure 1, d'un thermocouple 14 rendu escamotable par rapport au creuset 5 grâce à un vérin pneumatique 15.

La machine classique que l'on vient de décrire sert couramment à la coulée par centrifugation de pièces de prothèse dentaire, à une température supérieure à la température du liquidus  $T_L$ . Avec un alliage d'essai cuivre-étain à 11% d'étain, la température de coulée est de 1200°C pour une température du liquidus  $T_L$  de cet alliage de 985°C, soit avec un écart de 215°C au-dessus de cette température  $T_L$ .

20 Un tel alliage a une température du solidus  $T_s$  de 780°C. On a utilisé cette machine pour couler ce même alliage à une température de 930°C intermédiaire entre  $T_L$  et  $T_s$ . Après avoir fondu cet alliage à une température de 1200°C on l'a

25 laissé refroidir jusqu'à 930°C et, alors qu'il était à l'état pâteux, on a provoqué la coulée centrifuge par rotation.

Le résultat est illustré par les figures 6a, 6b qui montrent le moule 8 ouvert. La cavité de ce dernier représentait l'empreinte d'une prothèse dentaire. On peut

35 constater qu'elle n'a pas été remplie. Une faible quantité de métal 16 est venue remplir la cheminée 17 de la cavité 18 mais la plus grande partie du métal est restée dans le creuset 5.

Selon l'invention, la machine décrite plus haut est équipée d'un moyen d'agitation 19 comprenant au moins un élément d'agitation susceptible d'être engagé dans le creuset 5 et d'en être dégagé facilement et rapidement. Ce moyen d'agitation 19 comprend un moteur 20 à arbre vertical dirigé vers le bas et terminé par un mandrin de serrage 21 dans lequel est tenue solidement l'extrémité supérieure d'une tige 22. Celle-ci est munie de plusieurs éléments d'agitation en nitrure de silicium. On peut monter sur la tige 22 (voir la figure 2) plusieurs plaquettes diamétrales 23, étagées sur une longueur sensiblement égale à la profondeur du creuset 5. Ces plaquettes traversent la tige 22 dans des trous prévus à cet effet et sont immobilisées par des chevilles transversales 24. La longueur de chaque plaquette 23 est fixée en fonction du profil et de la dimension transversale du creuset 5.

En variante (fig. 3) la tige 22 est coulée en  $\text{Si}_3\text{N}_4$  en une seule pièce avec deux pales opposées 25 qui contiennent entre elles la partie extrême inférieure de cette tige 22. Ces pales 25 ont un profil général qui correspond au profil intérieur tronconique du creuset 5. Elles sont traversées en dehors de la tige 22 par de nombreux trous 26. De préférence, les trous 26 sont en quinconce entre un côté et l'autre de l'arbre 22; ils viennent de moulage avec la tige.

Le moteur 20 du moyen d'agitation 19 est lui-même fixé à l'extrémité de la tige de piston d'un vérin supérieur 27 et il est pourvu latéralement de fourreaux espacés 28 qui entourent des glissières 29. De cette façon on peut faire descendre les éléments d'agitation 23 ou 25 à l'intérieur du creuset 5 ou les en retirer, facilement et rapidement quand ce creuset 5 occupe une position d'arrêt déterminée.

Dans cet exemple, le moyen d'agitation 19 est supporté par des supports (non représentés) qui sont extérieurs à l'équipement tournant 3. On pourrait monter sur ce dernier un moyen d'agitation, entre l'arbre 1 et le creuset 5, par exemple sur la face supérieure de l'étrier 4. On réduirait ainsi l'encombrement en hauteur de la machine mais la masse à entraîner en rotation serait plus importante.

Dans les deux cas, qui sont équivalents au point de vue de l'invention, la tige 22 et les éléments d'agitation 23, 25 doivent pouvoir être dégagés rapidement du creuset 5.

Selon l'invention, il est extrêmement souhaitable, bien que ce ne soit pas strictement nécessaire en toutes circonstances, de chauffer le moule 8 à une température voisine de la température intermédiaire de l'état thixotropique de l'alliage à mouler et de préférence égale à cette température. L'équipement tournant 3 a une position d'arrêt déterminée dans laquelle un four 30 peut être avancé pour contenir presque totalement le moule 8. Ce dernier est porté entre les branches de l'étrier 4 et il s'étend au-delà de leurs extrémités qui sont réunies par un anneau 31. Le moule 8 est engagé dans l'anneau 31 et s'étend au-delà de ce dernier. Le four 30 est creux; il est disposé horizontalement avec son ouverture 32 tournée vers le moule 8. Il est monté sur un chariot 33 qui est lui-même déplaçable sur des rails 34 au moyen d'un vérin 35 auquel il est attelé. De préférence, le four 30 est du type à résistances électriques de chauffage et il est muni d'un thermocouple 36 de contrôle de sa température intérieure. De cette façon, on peut faire avancer le four 30 pour qu'il contienne et chauffe le moule 8 et le faire reculer pour dégager ce dernier.

Dans cette même position déterminée d'arrêt, l'inducteur 13 entoure le creuset 5 pour y faire fondre l'alliage.

La machine de coulée centrifuge que l'on a décrite plus haut avec un creuset 8 basculant sous l'effet de la force centrifuge peut être réalisée selon une variante connue en soi illustrée par les figures 5a à 5c. Dans ce cas, le creuset 5 n'est pas basculant; il reste toujours en position verticale mais il a une ouverture supérieure latérale 37 au point de sa paroi extérieure le plus éloigné de l'arbre 1.

Le moule 8 est accolé au creuset 5 avec son ouverture 10 abouchée avec l'ouverture 37. Pendant la rotation, le métal s'élève le long de la paroi du creuset 5 à l'opposé de l'arbre 1 et il passe dans le moule 8 en empruntant l'ouverture 37 et l'entrée 10.

Cette variante ne modifie en rien par ailleurs l'appareillage de l'invention qui comprend toujours le moyen d'agitation 19 suggéré par la tige 22 et les pales 25 sur la figure 5a et le four 30 représenté seul par simplification sur la même figure 5a.

On notera que d'autres variantes pourraient être apportées à la machine à mouler sans que l'on sorte pour autant du cadre de l'invention.

Le fonctionnement de l'appareillage pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention comprend les opérations successives suivantes :

1°/ (Figures 4a et 5a) - a) chauffage du moule 8 à une température  $T_m$  intermédiaire comprise entre la température du liquidus  $T_l$  et la température du solidus  $T_s$  de l'alliage métallique.  $T_s < T_m < T_l$ . Le moule 8 peut être éventuellement préchauffé dans un four extérieur à l'appareillage avant d'être maintenu à la température  $T_m$  par le four 30 ;

- b) fusion de l'alliage métallique à une température  $T_{c1}$  supérieure à la température du liquidus  $T_l$ .

2°/ (Figures 4b et 5b) - a) descente de l'agitateur et mise en rotation des pales 25 pour brasser le métal à la température  $T_{c1}$ ;

- b) refroidissement du creuset 5 à une température  $T_{c2}$  tel que  $T_s < T_{c2} < T_l$ , intermédiaire entre  $T_s$  et  $T_l$ .

3°/ (Figures 4c et 5c) - Ensuite simultanément les opérations suivantes sont enclenchées :

- a) arrêt de l'agitateur,
- b) remontée des pales 25,
- c) escamotage du four 30 pour libérer le moule 8,
- d) escamotage du moyen de chauffage par induction 13 vers le bas pour libérer le creuset 5,
- e) escamotage vers le haut du thermocouple 14.

Aussitôt que les opérations a à e ont été exécutées, le moteur 2 entraîne en rotation l'axe 1.



S'il s'agit d'un creuset 5 du type non basculant, le métal s'écoule par l'orifice 37 (figure 5c).

S'il s'agit d'un creuset 5 du type basculant, les contrepoids 7 l'inclinent horizontalement grâce à la force centrifuge et le métal est projeté directement de l'orifice 12 du creuset 5 à travers l'entrée du moule 8 dans la cheminée 17 de sa cavité (figure 4c).

Un essai a été effectué avec l'appareillage de l'invention pour couler le même alliage cuivre-étain à 11% d'étain, mentionné plus haut, dans un moule ayant la même empreinte 18 mais en appliquant le procédé de l'invention, à titre de comparaison avec l'essai de coulée classique décrit plus haut illustré par les figures 6a, 6b.

Pour ce deuxième essai, conforme à l'invention, le moule 8 a été chauffé et maintenu à la température  $T_m = 930^\circ\text{C}$  par le four 30. L'alliage a tout d'abord été fondu à la température  $T_f = 1200^\circ\text{C}$ .

Les pales 25 de l'agitateur 19 ont été plongées dans le creuset 5 puis mises en rotation; on a laissé la température du creuset 5 s'abaisser à la température de  $930^\circ\text{C}$  tout en maintenant l'agitation.

Après brassage de quelques minutes, le four 30, l'agitateur 19, le thermocouple 14, l'inducteur 13 ont été escamotés et la coulée centrifuge par rotation de l'axe 1 a été exécutée aussitôt, à la vitesse de 400 t/mn.

Après démoulage il a été constaté que la cavité 18 du moule 8 était parfaitement remplie comme le montre la figure 7.

La cavité 18 était l'empreinte d'une prothèse dentaire 38 dont la coupe est représentée sur la figure 8. Cette dernière montre que la pièce désirée était complète, totalement saine, et que sa structure n'était pas dendritique mais composée de nombreux globules de forme approximativement sphéroïdale.

L'invention permet, à partir d'une machine classique de moulage par centrifugation, d'apporter un perfectionnement qui rend cette machine apte à la réalisation de pièces coulées à l'état thixotropique, avec tous

les avantages qui en découlent. En outre, on peut remarquer que la température de coulée pendant le deuxième essai conforme à l'invention était inférieure de 270°C à la température de coulée classique.

- 5 L'invention démontre que, contrairement à ce que l'on croyait jusqu'à présent, la mise en forme d'un alliage à l'état thixotropique ne nécessite pas une pression considérable ni des organes puissants comme dans le moulage sous pression en moule fermé ou l'estampage dans une matrice.
- 10 La force centrifuge suffit à réaliser une pièce moulée saine dans un moule ouvert d'un alliage à l'état thixotropique, à la vitesse normale habituelle de rotation pour ce mode de moulage.

- Dans l'exemple décrit ci-dessus, le moyen
- 15 d'agitation est un moyen mécanique conçu pour être retiré du creuset. Sous son aspect le plus général, l'invention prévoit de combiner à une machine à mouler par centrifugation un moyen d'agitation approprié qui n'est pas nécessairement mécanique. Dans certaines circonstances, le
- 20 chauffage et le maintien en fusion de l'alliage à l'aide de l'inducteur 13 créent dans cet alliage une agitation qui suffit à le mettre à l'état thixotropique. Au besoin, un circuit électromagnétique complémentaire peut être adjoint à l'inducteur 13 pour brasser le métal à l'état mi-liquide
- 25 mi-solide et donner naissance à l'état thixotropique. L'invention couvre également ce moyen d'agitation non mécanique.

REVENDICATIONS

1. Procédé de moulage d'un alliage métallique à l'état thixotropique caractérisé en ce qu'on transfère cet alliage à l'état thixotropique entre un creuset dans lequel  
5 il a été préparé et un moule sous l'effet de la force centrifuge produite par la rotation du creuset et du moule.

2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'on chauffe le moule avant la coulée à une température voisine de la température de l'alliage à l'état thixotropi-  
10 que.

3. Appareillage pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, comprenant une machine à mouler par centrifugation ayant un creuset (5) et un moule (8) accolé à ce creuset pendant la rotation pour le transfert de l'alliage,  
15 caractérisé en ce qu'il comprend un moyen d'agitation du contenu en fusion du creuset (5), ce moyen d'agitation étant d'un type quelconque approprié mécanique ou non mécanique.

4. Appareillage selon la revendication 3 caractérisé en ce que le moyen d'agitation (19) comprend au moins un  
20 élément d'agitation mobile apte à être engagé dans le creuset (5) et à être dégagé de ce dernier facilement et rapidement.

5. Appareillage selon la revendication 3 caractérisé en ce que le moyen d'agitation est constitué par un circuit électromagnétique associé au creuset et apte à brasser  
25 l'alliage à l'état mi-liquide mi-solide.

6. Appareillage selon la revendication 4 caractérisé en ce que les éléments d'agitation comprennent une tige (22) à laquelle sont fixées des plaquettes diamétrales étagées (23).

7. Appareillage selon la revendication 4 caractérisé  
30 en ce que les éléments d'agitation comprennent une tige (22) moulée en  $\text{Si}_3\text{N}_4$  qui fait corps avec deux pales opposées (25) traversées par des trous (26).

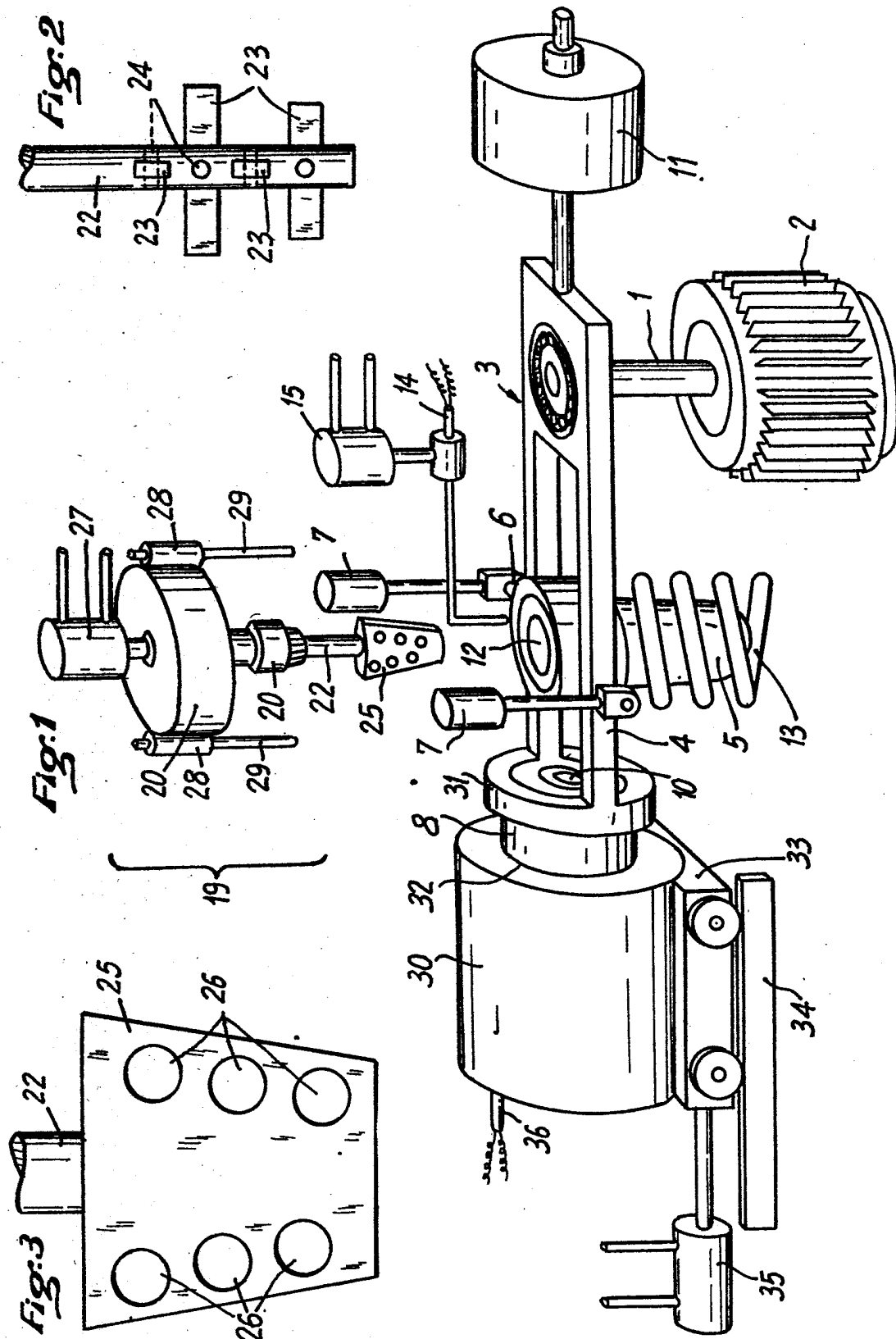
8. Appareillage selon l'une quelconque des revendications 6, 7 caractérisé en ce que le profil général des  
35 éléments d'agitation (23, 25) correspond au profil intérieur du creuset (5).

9. Appareillage selon la revendication 5 caractérisé en ce que le moyen d'agitation (19) est monté déplaçable dans son ensemble en sens vertical au-dessus du creuset (5) occupant une position d'arrêt déterminée.

5        10. Appareillage selon la revendication 5 caractérisé en ce que le moyen d'agitation (19) comprend un moteur (20) ayant un arbre vertical dirigé vers le bas et muni d'un mandrin de serrage (21) dans lequel on peut faire tenir une tige (22) munie d'éléments d'agitation (23, 25).

10       11. Appareillage selon la revendication 5 caractérisé en ce qu'un four de chauffage (30) conçu pour recevoir et contenir une partie substantielle du moule (8) est monté mobile par rapport à ce dernier occupant une position d'arrêt déterminée.

Pl. 1/4



Pl. 2/4

Fig. 4a

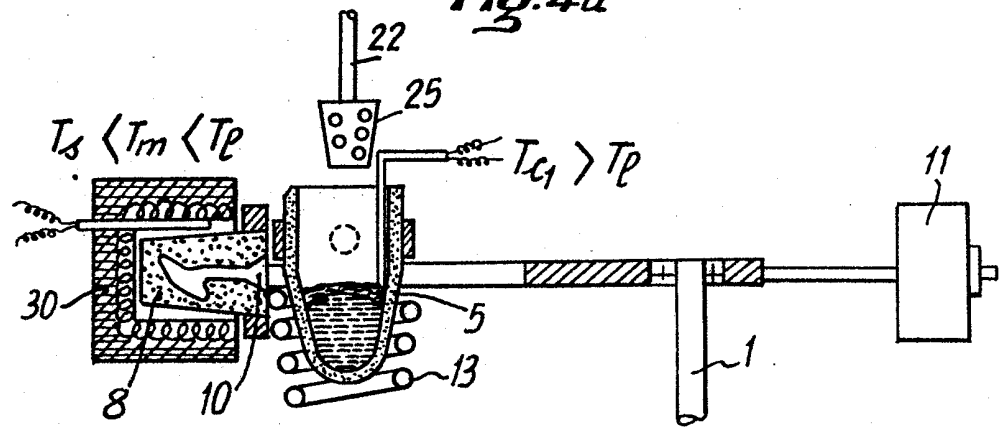


Fig. 4b

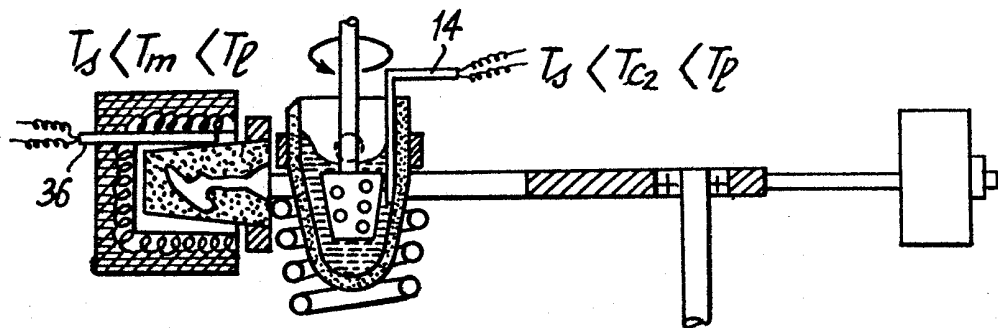
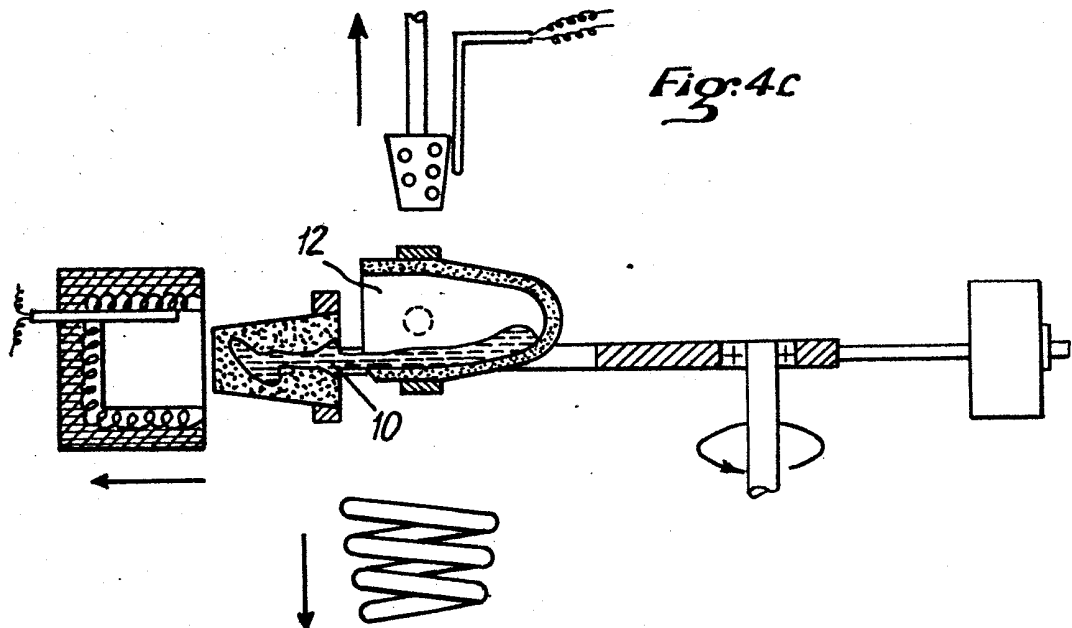


Fig. 4c



Pl. 3/4

Fig. 5a

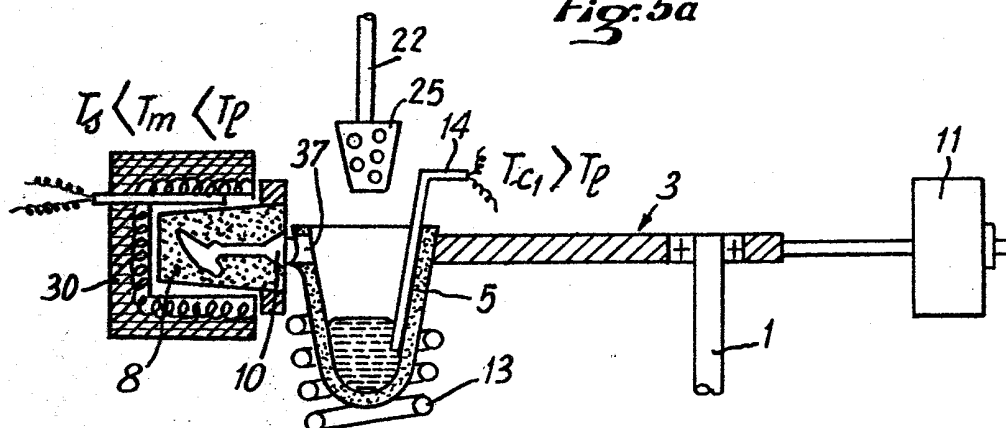


Fig. 5b

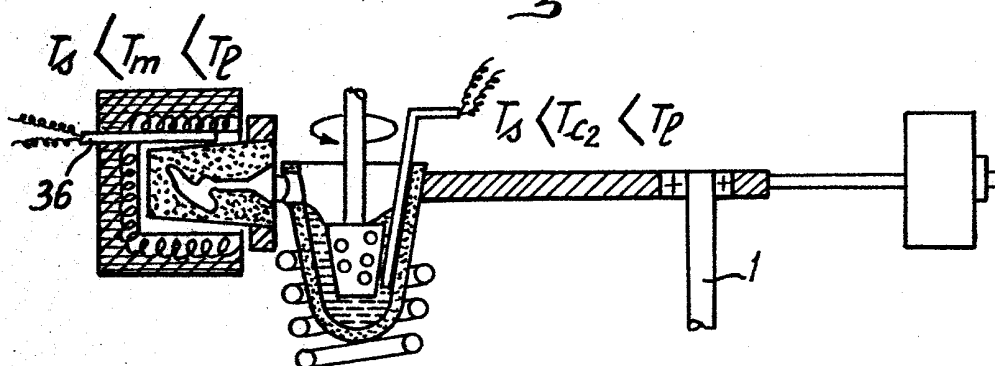
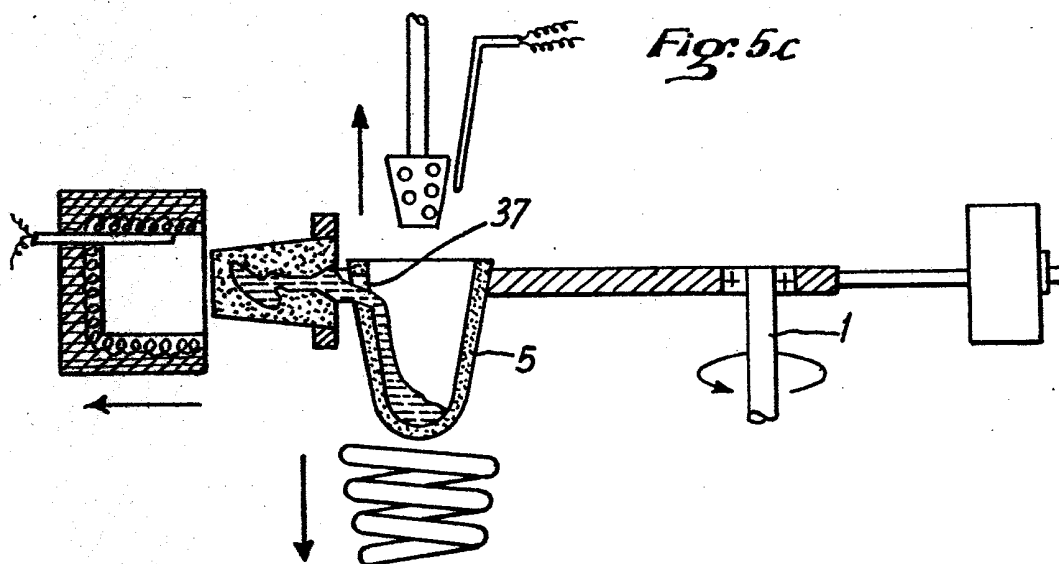


Fig. 5c



Pl. 4/4

Fig. 6a

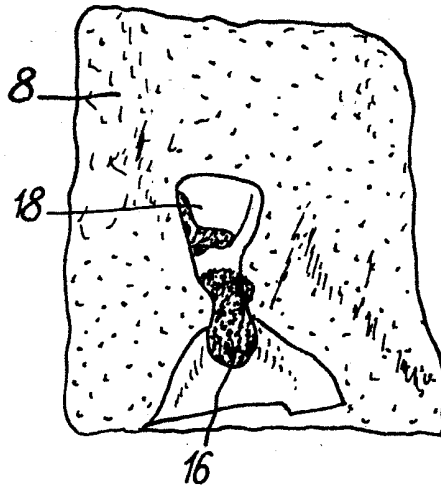


Fig. 6b

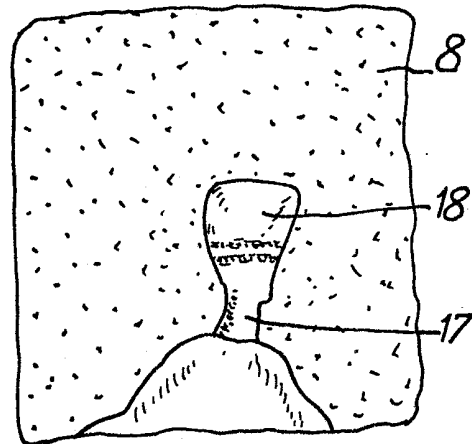


Fig. 7

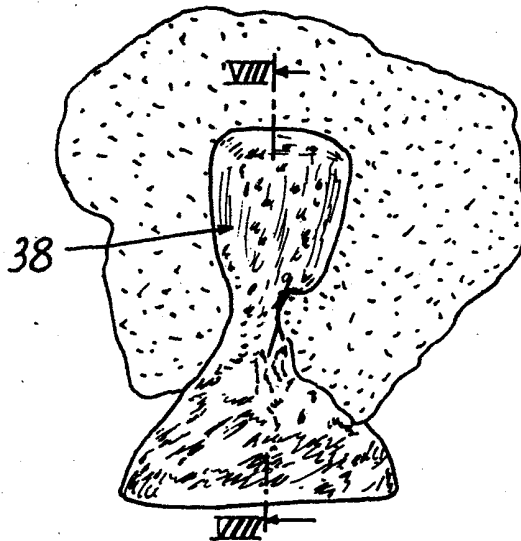


Fig. 8

