



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 055 947
A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 81400001.4

(51) Int. Cl.³: B 22 D 18/08

(22) Date de dépôt: 05.01.81

(43) Date de publication de la demande:
14.07.82 Bulletin 82/28

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE GB IT LI LU NL SE

(71) Demandeur: ETUDE ET DEVELOPPEMENT EN
METALLURGIE, E.D.E.M. Société à Responsabilité
Limitée dite
29, rue des Chênes
F-64140 Billere(FR)

(72) Inventeur: Merrien, Pierre L.
29 rue des Chênes
F-64140 Billere(FR)

(72) Inventeur: Merrien, Pierre A.
49 rue Pasteur
F-92330 Sceaux(FR)

(74) Mandataire: Thebault, Jean-Louis
3, rue du Professeur Demons
F-33000 Bordeaux(FR)

(54) Procédé et dispositif de régulation automatique d'un cycle de coulée sur machine basse-pression.

(57) L'invention concerne un procédé d'automatisation d'un cycle de coulée sur machine basse pression. Elle consiste à piloter le niveau de la pression de refoulement introduite dans le four (2) afin d'élever le métal (4) suivant des conditions dynamiques et physiques précises.

Il est tenu compte, par l'intermédiaire d'un capteur à ultrasons (E1), des phénomènes aléatoires non déterminés accompagnant la coulée tels que la baisse de niveau du métal dans le creuset (1) et des fuites de fluide de refoulement.

EP 0 055 947 A1

./...

PROCEDE ET DISPOSITIF DE REGULATION
AUTOMATIQUE D'UN CYCLE DE COULEE
SUR MACHINE BASSE PRESSION

On connaît différents procédés permettant la fabrication de pièces moulées et notamment de pièces en alliage coulées sous basse pression.

La coulée basse pression est une technique de fonderie très connue dans laquelle :

- 5 - on remplit par le bas un moule, métallique ou non, avec un métal, ou alliage liquide, contenu dans un four hermétiquement clos et susceptible de se solidifier. Ce métal peut remonter dans le moule par l'intermédiaire d'un tube d'injection,
- 10 - on effectue ce remplissage à l'aide d'un fluide de refoulement introduit dans le four sous une pression de quelques décibars,
- après remplissage du moule, on maintient une surpression de masselottage au cours de la solidification du matériau,
- 15 - on récupère le matériau non solidifié, situé dans le bas du moule dans les canaux d'injection, dès solidification de la pièce et après cessation de la pression de refoulement.

On utilise dans cette technique :

- 20 - soit des moules métalliques,
- soit des moules réalisés en sable, ou en matériaux divers (graphite, zircon, carborundum) dont les grains sont réunis par un liant (généralement, ce liant est une résine synthétique),
- 25 - soit quelquefois aussi des moules construits en céramique ou en plâtre.

Les moules métalliques sont robustes mais chers et réservés de ce fait aux grandes séries.

Les moules non métalliques ont un coût comparativement peu élevé. Ils présentent, de plus, l'avantage d'avoir une perméabilité réglable et permettent l'obtention d'un remplissage satisfaisant de l'empreinte.

Cette technique de coulée basse pression dans des moules en sable à bon marché est particulièrement adaptée aux nouveaux besoins de l'industrie, notamment dans le domaine aéronautique, qui nécessitent

la production de séries moyennes de pièces moulées en alliage de haute qualité mécanique, avec des tolérances fines et définies.

Les problèmes techniques de coulée agissant sur la qualité des produits concernés sont principalement :

- 5 - la maîtrise de la turbulence du métal lors de son élévation dans le moule, turbulence liée à la vitesse d'évolution du métal et qui détermine son oxydation,
 - 10 - la protection contre les coups de bâlier pouvant intervenir lors de l'établissement des surpressions de masselotage des pièces (c'est-à-dire de compensation de leur retrait) et pouvant conduire à une incrustation du métal entre les grains du moule,
 - 15 - un déroulement non prématué de la solidification,
 - 20 - une évolution du métal (en structure, en déplacement, en refroidissement, etc ...) conforme aux nécessités thermiques de la coulée,
 - 25 - une reproductibilité des opérations permettant d'uniformiser la qualité des pièces produites,
 - 30 - une rationalisation du déroulement des tâches.
- Afin de mieux comprendre le principe de fonctionnement du procédé selon l'invention, il convient de remarquer que lorsque le "front de coulée" du métal se trouve de façon quasi statique à un niveau H au-dessus du niveau du métal dans le creuset, la pression de refoulement dans le creuset est $P = H\rho g$ (ρ étant la masse volumique du métal considéré et g représentant le coefficient d'accélération de la pesanteur). Dès qu'il y a mouvement du liquide, des forces de freinage se développent entre le métal et les parois.

L'expérience et les calculs montrent que l'on obtient alors une loi différentielle de variation de la pression de refoulement régie par la formule :

$$\frac{dP}{dt} = K\rho g \frac{dH}{dt} = K\rho gV$$

(V est la vitesse verticale de montée du front de coulée et $K \geq 1$ est un coefficient tenant compte des frottements qui dépend de la géométrie du moule et de V).

Pour les faibles valeurs de la vitesse V , et donc de $\frac{dP}{dt}$, $K = 1$.

Pour les fortes valeurs de V, K et donc V tendent vers une valeur asymptotique.

Dans toute la suite, nous nous placerons dans le cas le plus courant où V est faible, on a alors

5 - en phase de remplissage : $P = \rho gH$ et $\frac{dP}{dt} = \rho gV$

- en phase de surpression : $P = \rho gH + \Delta P$, ΔP étant la surpression subie par le métal à la partie supérieure du moule.

Nous pouvons remarquer que, lorsque le métal est en phase de 10 surpression, cette surpression dépend du niveau de ce métal dans le creuset, par l'intermédiaire du terme H, ce dernier variant avec la succession des coulées.

La prise en compte des conditions d'ordre théorique concernant la coulée rappelées précédemment nécessite :

- 15 - d'une part, d'agir sur la pression de refoulement du métal, pendant les phases dynamiques, de telle sorte que le front de coulée progresse régulièrement et suivant des caractéristiques de vitesse précises. Quelle que soit la forme ou la finesse des empreintes à remplir, cette progression doit s'effectuer sans ralentissement brusque provoquant un figeage trop rapide de la masse liquide et interrompant brusquement cette dernière avant qu'elle ait pu être achevée, mais aussi sans turbulences susceptibles de provoquer des oxydations déterminant des faiblesses ou des discontinuités 20 locales dans les pièces à couler,
- 25 - d'autre part, d'appliquer au métal, après qu'il ait rempli l'empreinte, des surpressions assez rapides et importantes pour compenser le retrait en cours de solidification, mais dans des conditions de variation telles qu'elles ne provoquent pas de pénétration du métal entre les grains du moule,
- 30 - enfin, d'effectuer ces actions en tenant compte des perturbations aléatoires telles que la baisse de niveau du métal dans le creuset et les fuites de gaz.

L'art antérieur s'est vainement attaché à résoudre globalement ces 35 problèmes

- dans certains systèmes décrits à ce jour, le cycle de coulée suit des phases limitées par des repères situés dans l'empreinte. L'écoulement est provoqué par l'admission dans le

creuset de débits d'air constants fixés à l'avance. La vitesse d'écoulement du métal n'est alors que la conséquence plus ou moins imprévisible de ces débits, de la géométrie des pièces et des fuites inéluctables de gaz,

- 5 - d'autres systèmes imposent une vitesse de variation de pression constante pour tout le cycle, ou encore effectuent un réglage en plusieurs paliers de pression jusqu'à obtention d'une pression finale déterminée.

10 Ces systèmes ne corrigent pas la pression pour tenir compte de la baisse du niveau du métal. Ceci interdit toute reproductibilité des coulées.

- 15 - Enfin, certains systèmes effectuent une correction à partir d'indications données au début de la séquence, notamment à un calculateur analogique. Mais ceci exige un réglage préalable et exclut la possibilité de couler des pièces différentes à chaque cycle comme cela est souvent le cas dans le domaine aéronautique. Par ailleurs, les corrections effectuées souffrent d'imprécision dans leur évaluation et les erreurs commises ne font en général que croître quand se succèdent les coulées.

20 L'objet de la présente invention est de résoudre globalement l'ensemble des problèmes précédemment cités que pose la coulée sous basse pression

- 25 - elle propose un procédé permettant d'imposer au métal,
- au cours des phases dynamiques de remplissage de l'empreinte, un cycle ayant des caractéristiques de vitesse et d'accélération précises adapté à son évolution et défini à l'avance,
- et après remplissage de l'empreinte, avant solidification, des 30 phases de suppression à un niveau convenable prédéterminé.

Le procédé selon l'invention prend soin, pour imposer ces caractéristiques, de tenir compte de façon directe des perturbations aléatoires telles que la baisse du niveau du métal dans le moule et les fuites de gaz.

35 Un autre objet de l'invention est de proposer des matériels adaptés à la mise en oeuvre de ce procédé général et de décrire d'une part des procédés et d'autre part des dispositifs permettant un développement rationnel et automatique du procédé selon l'invention.

En particulier, l'invention consiste à réguler l'évolution du cycle de coulée suivant des caractéristiques précises par l'intermédiaire d'un pilote automatique agissant sur la pression de refoulement du métal grâce à une vanne asservie par ce pilote.

5 Le système proposé comporte essentiellement :

- une machine de coulée basse pression classique,
- un pilote automatique,
- une vanne asservie par le pilote,
- un capteur de la pression dans le four contenant le creuset, transmettant ses informations au pilote,
- 10 - un certain nombre d'organes sensoriels capteurs de présence de métal, situés sur le parcours d'élévation du métal dans le moule au point de changement d'étape, et transmettant eux aussi leurs informations au pilote,
- 15 - un capteur de température du métal dans le creuset lié au pilote.

Suivant le procédé de l'invention, la fabrication d'une série de pièces s'effectue en deux stades :

- le premier stade est une stade de mise au point,

20 Après dessin du système de coulée établi de façon théorique, on trace une courbe de variation de pression conduisant à des vitesses de montée du métal et à des surpressions susceptibles d'engendrer une pièce de qualité métallurgique satisfaisante. Selon une caractéristique préférée de l'invention, on choisit alors un cycle divisé en huit phases.

25 Les trois premières phases correspondent au remplissage du moule. On impose au métal, au cours de chacune d'elles, une vitesse d'élévation constante adaptée à la géométrie de la pièce. Pour ce faire, on établit une vitesse de variation de pression de refoulement constante au cours de ces phases.

30 . La première phase correspond à l'étape de montée du métal de son niveau de repos dans le creuset vers le moule et s'effectue à l'intérieur d'un tube débouchant dans le moule.

35 Au cours de cette phase, la vitesse peut être assez rapide et ne dépend que de l'appareil de coulée.

. Pendant la deuxième phase, le remplissage du cône d'entrée dans le moule est effectué.

- La troisième phase correspond à l'entrée du métal dans le système de coulée du moule, c'est-à-dire la partie joignant le tube au moule. Cette phase est effectuée à une vitesse variable suivant le type de pièces.
- 5 • Durant la quatrième phase, le métal emplit l'empreinte. Cette phase est éventuellement divisée en sous-phases. La vitesse optimale est alors liée à la forme géométrique de la pièce : épaisseur et hauteur en particulier.
- 10 A l'issue de la quatrième phase, le métal doit avoir rempli l'empreinte.
- 15 Afin de coordonner durant cette partie dynamique de la coulée les phases d'action sur la pression de refoulement aux différentes étapes dynamiques du métal, quatre détecteurs de présence (notamment électrodes intérieures traversant les parois du moule ou système émetteur-récepteur ultrasons situé à la partie supérieure du tube d'alimentation) sont situés au point de changement d'étapes géométriques et transmettent au pilote les ordres de changement de phase.
- 20 Un capteur particulier, notamment le premier rencontré par le métal, permet d'établir le lien entre la pression de refoulement et les pressions ultérieures de masse-lottage. A cet effet, le capteur donne l'ordre au pilote, au moment du passage du métal à sa hauteur, d'enregistrer le niveau de la pression de refoulement. Par la suite, le pilote ne considère que des pressions relatives en prenant, comme zéro de pression, la valeur de la mesure enregistrée lors de cette opération déclenchée par le capteur.
- 25 Un capteur particulier, notamment le premier rencontré par le métal, permet d'établir le lien entre la pression de refoulement et les pressions ultérieures de masse-lottage. A cet effet, le capteur donne l'ordre au pilote, au moment du passage du métal à sa hauteur, d'enregistrer le niveau de la pression de refoulement. Par la suite, le pilote ne considère que des pressions relatives en prenant, comme zéro de pression, la valeur de la mesure enregistrée lors de cette opération déclenchée par le capteur.
- 30 Ainsi, le problème causé par la baisse du niveau du métal dans le creuset est résolu.
- 35 Des capteurs supplémentaires peuvent éventuellement servir à diviser chaque phase en sous-phases.
- Les trois étapes suivantes sont effectuées après remplissage de l'empreinte.
- Durant la phase 5, on établit une surpression ΔP_1 par rapport au niveau de pression à la fin du remplissage du moule. Elle est effectuée pendant un temps ΔT_1 . La

vitesse et l'accélération de la pression de refoulement sont choisies de façon à éviter les coups de bâlier, ceci afin de pouvoir utiliser des moules en sable fin.

- 5 . Durant la phase 6, on établit une surpression ΔP_2 pendant un temps ΔT_2 très court.

La somme $\Delta P_1 + \Delta P_2$ représente la pression de masse-lottage et doit s'exercer avant que la pièce ne commence à se solidifier.

10 ΔP_1 et ΔP_2 , ΔT_1 et ΔT_2 dépendent des caractéristiques de la pièce et en particulier de la nature de l'alliage, de l'épaisseur, de la longueur et de la hauteur.

- 15 . La phase 7 correspond au maintien de la surpression. Cette phase est interrompue par le pilote après information transmise par un thermocouple de la fin de la solidification à la base de la pièce. Ce thermocouple est situé dans la partie la plus chaude du système de coulée.
15 . La phase 8 est la phase de relaxation.

Les paramètres imposés à la coulée, au cours d'un essai, sont donc au nombre de 8 :

- 20 . la température,
. les vitesses de montée du métal au cours des phases 2, 3 et 4. Ces vitesses sont proportionnelles aux vitesses de variation de pression au cours de ces phases et imposent donc la valeur de ces dernières
25 . la valeur de la surpression ΔP_1 et le temps ΔT_1
. la valeur de la surpression ΔP_2 et le temps ΔT_2 .

Toutes ces grandeurs peuvent donc être imposées par l'intermédiaire de la pression de refoulement.

30 Ces paramètres influencent énormément les qualités métallurgiques des pièces en régissant les différents taux d'oxyde, de souflure, de non venue, d'abreuvage, de microposités, de retassures et de microtassures.

35 En général, plusieurs essais de ce type sont effectués par itération et exploités notamment statistiquement en faisant varier les paramètres du cycle de coulée et en agissant de plus sur la température du four. Ces essais sont poursuivis jusqu'à obtention de la qualité métallurgique satisfaisante. Le pilote enregistre les valeurs des caractéristiques précédentes

effectivement obtenues au cours des coulées et les délivre. De plus, il enregistre et délivre les durées des phases de remplissage du moule. Après chaque coulée, on examine la qualité des pièces obtenues.

5 A la suite de cette série d'essais, les huit valeurs des caractéristiques optimales de la coulée sont isolées. Les temps des phases 5, 6 et 7 leur sont associés.

10 On introduit dans la mémoire du pilote la corrélation existante entre le type de la pièce (ou sa référence) les huit caractéristiques du cycle, les trois durées des phases 5, 6 et 7 correspondantes.

- Le deuxième stade ou stade de production en série peut alors commencer.

15 Le moule étant mis en place sur la machine basse pression, les seules opérations manuelles à effectuer sont l'affichage de la référence de la pièce et éventuellement le démarrage du cycle. Sur ces seules indications, le pilote effectue la régulation de la coulée et de la température suivant les caractéristiques optimales qu'il possède en mémoire.

20 Selon une forme préférée de l'invention, le dispositif utilisé en phase productive peut être simplifié de façon à ne posséder qu'un seul capteur de présence qui sera décrit plus loin. Ce capteur peut être, par exemple, situé à la sortie du tube de montée du métal. Les moules sont alors dépourvus de capteur. Dans ce cas, il est judicieux d'utiliser ce capteur à la fois pour interrompre la première phase et pour définir le niveau de pression de référence de la coulée. Cette référence permettra la prise en compte de la baisse du niveau du métal.

30 Dans ce type de coulée et en stade de série, les informations de temps, correspondant aux changements des phases 2, 3 et 4, ne sont plus données par les capteurs de présence du moule mais imposées par le pilote lui-même, suivant leurs valeurs optimales.

35 Toujours selon le procédé de l'invention, des moyens sont prévus afin de pouvoir réaliser des pièces possédant des parties de très faible épaisseur. Dans ce cas, on crée une dépression à l'extrémité de la cavité intérieure du moule destinée à former les parties fines de la pièce. En cours de coulée, le métal emprisonne une bulle de gaz dans ces cavités. Selon l'invention, l'établissement du vide dans cette cavité est programmé. Cette action s'effectue par l'intermédiaire d'un canal

traversant les parois du moule dans la zone considérée. On assure cette dépression selon des paramètres du même type que ceux de l'établissement de la surpression dans le four. Dans ce cas, l'écoulement du métal n'est pas perturbé par la finesse des cavités concernées 5 et il est ainsi possible d'obtenir dans ces zones un remplissage complet avec état de surface très satisfaisant. Cette technique consiste donc à établir de façon automatique et régulée suivant les formes des pièces un vide-pression dans les zones de faible section transversale.

Par ailleurs, selon l'invention, des moyens sont prévus pour éviter 10 les fuites de métal liquide à la base du moule. Il est en effet nécessaire de maintenir le moule en place malgré l'action de la poussée du métal dirigé de bas en haut.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention se dégagent 15 de la description qui va suivre en regard des dessins annexés, lesquels descriptions et dessins ne sont donnés qu'à titre d'exemple non limitatif.

Sur ces dessins :

- la figure 1 montre une coupe schématique d'une machine de coulée basse pression adaptée à la mise en oeuvre du procédé 20 selon l'invention, ainsi que le pilote qui en commande automatiquement le fonctionnement ;
- la figure 2 représente le cycle de coulée jugé idéal selon l'invention ;
- la figure 3 est un schéma du dispositif d'asservissement de 25 la vanne et du dispositif d'automatisation du cycle ;
- la figure 4 représente un capteur de pression à ultrasons utilisé suivant le procédé de l'invention à la partie supérieure du tube de montée du métal dans le moule ;
- la figure 5 représente un schéma d'un dispositif selon l'invention, utilisé dans le cas du moulage de pièces, possédant 30 une zone de faible épaisseur transversale ;
- la figure 6 représente une forme de calage des moules adaptée au stade de mise au point ;
- la figure 7 représente une solution au problème de calage 35 dans le stade de production de pièces différentes.

Sur la figure 1, si l'on s'intéresse aux différents organes qui constituent la machine de coulée, on voit un creuset 1 situé à l'intérieur d'un four étanche 2. Ce four est fermé par un couvercle fixe

3. A l'intérieur du creuset, se trouve le métal 4. L'empreinte du moule 5 est alimentée en métal liquide par l'intermédiaire du tube d'injection 6 et du système de coulée 7. Un débit de gaz de refoulement (air ou gaz neutre) est introduit dans le moule par l'intermédiaire du conduit 8. Le 5 moule représenté est adapté au stade de mise au point, il est doté de trois capteurs de présence du métal E2, E3 et E4. Ces capteurs de présence sont des électrodes mises à la masse par le passage du métal. Un quatrième capteur E1 est situé de façon fixe à la partie supérieure du tuyau 6. Pour éviter tout encrassement d'un organe immergé dû à 10 la succession des opérations de coulée, on choisit de préférence comme capteur de présence un système composé d'un émetteur, d'un récepteur, d'un générateur et d'un analyseur de faisceau d'ondes. La forme préférée de ce système sera précisée plus en détail par la suite.

On remarquera la présence d'une vanne assistée 9 commandant 15 l'arrivée du fluide de refoulement dans le moule, d'un thermocouple 10 situé à 20 mm en-dessous de la pièce dans l'attaque la plus chaude du système de coulée et d'un thermocouple 11 situé à l'intérieur du creuset de métal. Un capteur de pression 12 est placé à l'intérieur de l'enceinte du four. Le four est réchauffé par une résistance 13.

20 Quant au tableau de commande du pilote, nous y trouvons à la partie supérieure dix roues codeuses 14 à 23. La partie centrale du tableau est équipée à sa partie supérieure par douze cadrants 24a à 24l et à sa partie inférieure par un cadran de visualisation 25 sur lequel est matérialisée une ligne brisée entrecoupée par neuf petites lampes 25 26a à 26i. A la base du tableau se trouvent à gauche une roue codeuse 27, puis un commutateur tri-positions 28, un commutateur 29 et un pousoir 30 avec visualisation lumineuse.

Les quatre capteurs de présence E1, E2, E3 et E4, les thermocouples 10 et 11 et le capteur de pression 12 transmettent leurs informations au pilote par l'intermédiaire de câbles 31 à 37. Le pilote, quant à lui, commande l'ouverture et la fermeture de la vanne assistée 9 par l'intermédiaire du câble 38 et la mise sous tension de la résistance 13 par l'intermédiaire du câble 39.

Nous allons maintenant décrire le déroulement de la régulation du 35 système de coulée par le pilote au cours d'un essai de mise au point d'une pièce d'un type donné.

Ce pilotage consiste à imposer à la pression de refoulement P le suivi des phases de variation dont la courbe est représentée à la fi-

gure 2.

Sur la figure 2, les quatre premières phases numérotées 1, 2, 3 et 4 correspondent aux étapes d'évolution dynamique du métal dans le moule. Les phases 5 et 6 correspondent à l'établissement de surpressions après remplissage de l'empreinte par le métal. La phase 7 maintient la surpression de masselotage en cours de solidification. La phase 8 effectue la relaxation du système ; au cours de cette phase le métal retombe dans le creuset.

Un essai consiste à imposer des vitesses de variation de pression précises pendant les phases 2, 3 et 4 à des niveaux tels que les vitesses de montée de métal dans le moule (qui leur sont, comme nous l'avons vu, proportionnelles) soient établies à des valeurs choisies V2, V3 et V4. Au cours d'un essai, on impose de plus la durée T1 et la surpression P1 de la phase 5, ainsi que la durée T2 et la surpression P2 de la phase 6.

Avant tout essai de ce type, on règle à l'aide des roues codeuses 14 à 20 les valeurs choisies pour cet essai de V2, V3, V4, P1, T1, P2, T2. On fixe de plus la température T du métal au cours de la coulée grâce à la roue codeuse 21. Toutes les valeurs fixées s'affichent sur la face avant des roues codeuses.

Le pilote prend en compte et mémorise ces huit valeurs.

Le déroulement de la coulée d'essai va se poursuivre de la façon suivante.

On met tout d'abord en place le moule concerné.

On met en route l'appareil en appuyant sur l'interrupteur 30.

Après une phase de stabilisation du système qui se termine par une visualisation lumineuse rouge de l'interrupteur, la coulée commence.

Pendant la première phase la vanne assistée, initialement fermée, est ouverte par le pilote.

La pression monte, et le métal initialement au repos à son niveau dans le creuset, s'élève dans le tube 6 à une vitesse fixée lors de la construction de la machine. Il atteint la capteur de présence E1. Celui-ci transmet au pilote l'information du passage du métal à son niveau. Le pilote interroge alors le capteur de pression 12. Ce dernier transmet l'indication de niveau de pression dans le four. Le pilote mémorise cette valeur et la considérera par la suite comme pression de référence.

A partir de cet instant, le pilote prend en charge toute l'évolution du système et asservit les variations de pression suivant un principe

qui sera exposé plus loin, de façon à établir au cours des phases ultérieures, les caractéristiques qui lui ont été précisées et que celui-ci a mémorisées.

S'ouvre alors la phase 2.

5 Le métal remplit le canal d'entrée dans le moule. Au cours de cette phase, le pilote va agir sur la vanne assistée de façon à établir effectivement la vitesse de variation de pression de refoulement qui imposera la vitesse de montée du métal V2. Le plus souvent cette vitesse V2 est inférieure à la vitesse V1 de montée du métal dans le 10 tube. Cette phase 2 est interrompue au moment où le métal passe devant le capteur de présence E2. L'information est transmise au pilote qui change de phase.

Durant la phase 3, le métal emplit le système de coulée. Le pilote impose alors par l'intermédiaire de la pression de refoulement une 15 vitesse d'élévation V3.

Durant la phase 4, le métal remplit l'empreinte. Le pilote adapte les variations de la pression de refoulement de façon à éléver le métal à la vitesse V4, le métal rencontre enfin l'électrode E4 qui signifie au pilote que le métal a rempli complètement l'empreinte.

20 Les phases suivantes sont les phases de surpression.

Au cours de la phase 5, le pilote impose l'accroissement de pression ΔP_1 pendant le temps ΔT_1 .

Au cours de la phase 6, le pilote impose l'accroissement de pression ΔP_2 pendant le temps ΔT_2 .

25 Pendant la phase 7, le pilote stabilise la surpression. La solidification du métal intervient au cours de cette phase, elle s'effectue en général de haut en bas. Le thermocouple 10 analyse le niveau de température dans le système de coulée à la base de l'empreinte.

Dès que la température atteint la fin du palier de solidification, 30 c'est-à-dire dès que le métal est complètement solidifié dans l'empreinte, l'information est transmise au pilote. La phase 7 est terminée, la phase 8 commence, le pilote décomprime l'enceinte. Le métal liquide redescend dans le creuset.

En cours d'essai, l'opérateur est informé de l'élévation de la coulée par l'intermédiaire du cadran 25. En effet, les lampes 26a, 26b, ... 26i s'allument successivement après chaque changement de phase.

A l'issue de chaque étape, le pilote évalue et mémorise les caractéristiques qui ont été effectivement obtenues. A la fin de la coulée,

les caractéristiques de cycles V2, V3, V4, ΔP_1 , ΔT_1 , ΔP_2 , ΔT_2 , les caractéristiques de temps Δt_2 , Δt_3 , Δt_4 des phases 2, 3 et 4 et la température du cycle effectivement obtenues sont affichées dans les cadrants 24a, 24b, 24c ... 24k.

5 L'opérateur peut les utiliser à fins de vérification.

On va maintenant décrire le principe de fonctionnement du pilote.

Il a trois fonctions principales :

- une fonction entrées-sorties qui relie le pilote d'une part aux organes de mesure et, d'autre part aux indications données sur son tableau d'affichage,
- une fonction calcul-comparaison-décision,
- une fonction mémoire.

Considérons, par exemple, le déroulement de la deuxième phase :

Elle est initiée par le capteur de présence E1. A partir de cet instant, le pilote prend en mains la destinée de la coulée.

Le rythme de fonctionnement du pilote est séquencé par un système d'horloges divisant l'échelle des temps en pas élémentaires successifs.

A partir des caractéristiques du cycle qu'il a mémorisé, le pilote sait qu'il doit imposer une vitesse d'élévation V2 au cours de cette phase. Grâce à son ensemble calcul, il en déduit qu'au cours de chaque intervalle de temps de cette phase, il va devoir accroître la pression d'un accroissement théorique $\Delta P_t = \rho g V_2 \Delta t$. Or, le capteur de pression 12, branché dans l'enceinte, transmet au pilote au cours de chaque intervalle de temps la valeur de l'augmentation réelle de pression ΔP_r . Le pilote effectue alors la comparaison décrite sur la figure 3 entre ΔP_t et ΔP_r . Si ΔP_t est supérieur à ΔP_r , c'est-à-dire si au cours de l'intervalle de temps l'accroissement de pression réel a été plus faible que l'accroissement de pression théorique, le pilote ouvre la vanne assistée 9 par l'intermédiaire de son ensemble entrées-sorties. De même, si ΔP_t est inférieur ou égal à ΔP_r , le pilote ferme la vanne assistée 9 et ceci se répète successivement pas à pas au cours du déroulement de l'échelle des temps devant chaque pas de temps.

Suivant que le pilote a été branché à l'aide du commutateur 28 en position mise au point ou en position série, les fins de phases lui sont, soit communiquées de l'extérieur à l'aide de capteurs de présence, soit communiquées de l'intérieur par les durées de phases mises en mémoire et imposant le nombre de pas de temps de chaque phase.

La courbe réelle résultant du pilotage global d'une coulée peut être visualisée à l'aide d'une table traçante. Ces courbes comportent, comme on peut le voir en figure 2, une série continue de petits escaliers encadrant la courbe théorique. Chaque petit escalier correspond à un intervalle de temps Δt et une action du pilote sur la vanne assistée 9.

Les quatre fonctions du pilote au cours de ces intervalles de temps sont donc

- . le calcul de ΔP_t ,
- 10 . la mesure de ΔP_r ,
- . la comparaison entre ΔP_t et ΔP_r ,
- . l'action sur l'électrovanne.

Le système comprend un microprocesseur lui permettant d'effectuer ces quatre fonctions et de parvenir ainsi au pilotage complet de la coulée.

L'appareil peut adapter ses caractéristiques de pilotage de pression de façon à couler des pièces de quelques centimètres à plus de 2m 50 avec une précision satisfaisante et constante pour chacune d'elles. Pour ce faire, on indique au départ de chaque coulée à l'aide de la roue codeuse 22 la gamme à l'intérieur de laquelle évoluera la pression. Le pilote divise cette gamme de pression en $2^{12} = 4.096$ paliers. Or, la précision du pilotage, c'est-à-dire la finesse avec laquelle le pilote suit sa courbe théorique, est exprimée par le rapport $\frac{\Delta P_t}{\Delta t}$ du saut de l'accroissement de pression de refoulement à la durée Δt du pas de temps correspondant.

Aussi, lors du choix de la gamme, le pilote choisit la durée de chacun des pas de façon à conserver une précision constante. Ces durées varient de 50/1000 de seconde pour la gamme la plus basse à environ 200/1000 de seconde pour la gamme la plus haute.

30 Six gammes sont rendues accessibles dans l'appareil par l'intermédiaire de la roue codeuse 22. Pour chacune de ces gammes, l'augmentation de chaque palier élémentaire de pression et la durée du pas de temps sont mises en mémoire dans le microprocesseur lors de la construction du pilote.

35 Généralement, à l'issue d'un tel essai, les pièces sont observées et leurs caractéristiques mécaniques évaluées. On réitère plusieurs fois ces essais en tenant compte des essais précédents. A l'issue de la série de mise au point, les caractéristiques optimales du cycle, suivant

lesquelles la pièce doit être coulée, sont établies statistiquement. Elles se concrétisent par les onze valeurs affichées en 24a, 24b, 24c ... 24k qui ont été obtenues à la suite de la coulée de la pièce ayant présenté les meilleures qualités mécaniques. L'opérateur affiche alors, grâce à la 5 roue codeuse 27, la référence de la pièce concernée et place le commutateur multipositions 28 dans l'état enregistrement. Les onze valeurs caractéristiques de la coulée sont alors affichées en 27, mémorisées par le pilote en corrélation avec la référence de la pièce affichée en 27.

La succession des opérations d'essai précédentes a été décrite 10 dans le cas où le commutateur 29 est en position "automatique", c'est-à-dire que comme nous l'avons vu, la phase 7 est interrompue automatiquement par ordre du thermocouple 10. Suivant une autre option, quand le commutateur 29 est en position "manuelle", la durée D de la 15 phase 7 est imposée précédemment à la coulée parmi les caractéristiques du cycle. On l'affiche sur la roue codeuse 23.

Toujours dans ce cas, lors de l'enregistrement des caractéristiques optimales, la valeur trouvée D est visualisée en 24l et mémorisée parmi les caractéristiques à imposer par le pilote pour la phase de série.

20 Pour entamer en stade série une pièce d'un type donné, dont la mise au point a été précédemment réalisée et dont les caractéristiques optimales sont mémorisées, il suffit d'afficher la référence de la pièce grâce à la roue codeuse 27, de placer le commutateur multipositions en état série et d'appuyer sur le bouton de fonctionnement 30. Le pilote 25 appelle alors les onze valeurs V2, V3, V4, ΔP_1 , ΔT_1 , ΔP_2 , ΔT_2 , Δt_2 , Δt_3 , Δt_4 et ΔT relevant du stade d'essai le type de la gamme G et éventuellement la durée D. Ces valeurs se trouvent en mémoire, les coulées s'effectuent et les paramètres obtenus sont visualisés en 24.

Pour effectuer une coulée du stade série, il n'est plus nécessaire 30 d'utiliser des moules comportant des capteurs de présence. On ne conserve que le capteur E1. En effet, les indications de temps que transmettent pendant la phase d'essai les capteurs E2, E3 et E4 seront remplacés par les données Δt_2 , Δt_3 et Δt_4 mémorisées.

En dehors de ces simplifications, les coulées en stade de série 35 s'effectuent de la même façon que les coulées en stade d'essai.

Sur la figure 4, est représenté le capteur de présence E1 préféré selon l'invention. Celui-ci est du type à ultra-sons. Il est composé

d'un ensemble générateur-décodeur 40 extérieur au système et d'un palpeur 41 situé à l'intérieur du plateau fixe 42 en regard et à l'extérieur de la buse de liaison 43 et figuré à la partie gauche de celle-ci.

L'ensemble générateur-décodeur 40 émet un signal dans la bande 5 ultra-sons, celui-ci est transmis au palpeur 41 par le conducteur 44 et émis par le palpeur. Le faisceau réfléchi d'ultra-sons résultant est récupéré par le palpeur 41, transmis à l'ensemble 40 par l'intermédiaire du conducteur 45 et analysé par le décodeur.

Dans le cas où le front de coulée du métal 46a est situé à un 10 niveau inférieur au palpeur 41, le fonctionnement de l'appareil peut être schématisé grâce à la courbe 4a. Le palpeur émet un faisceau d'ultra-sons dont l'action peut être schématisée par le pic E. Ce faisceau se réfléchit tout d'abord sur la partie interne gauche 43a de la buse de liaison, traverse ensuite le canal interne à la buse de liaison 15 en s'affaiblissant légèrement puis se réfléchit sur la face interne droite 43b de la même buse de liaison 43.

Ces réflexions successives se caractérisent en ce qui concerne la réflexion sur la face gauche de la buse par le pic R1 et sur la face droite de la buse par le pic R2. On peut remarquer que les pics E, R1 20 et R2 sont respectivement décroissants mais les pics R1, R2 sont du même ordre de grandeur. Les deux pics R1 et R2 représentent à la fois le déphasage et l'énergie des faisceaux réfléchis et reçus par le palpeur 41 et conduits vers la partie décodeur de l'ensemble 40.

Dans le cas où le front de coulée 46b se trouve à un niveau supérieur 25 à celui du palpeur 41, le fonctionnement du système est représenté par la courbe 4b. Les réflexions respectivement sur la face gauche et droite de la buse de liaison se concrétisent par les pics R'1 et R'2, le pic d'émission étant représenté par E'. On remarque que, dans ce cas, le pic R'2 est très affaibli par rapport au pic R'1. Ces 30 informations sont, comme précédemment, transmises à la partie décodeur de l'ensemble 40.

En période de fonctionnement, le rôle de ce décodeur est de distinguer les dispositions du front de coulée de type 46a et de type 46b. Pour ce faire, ce décodeur possède des organes capables de 35 distinguer les pics résultants du type R2 et du type R'2.

Le décodeur transmet au pilote 47, par l'intermédiaire du câble 48, l'information concernant la position du métal par rapport à la position du palpeur.

Si nous nous référons maintenant à la figure 5, on y voit la partie mince d'une pièce en cours de coulée. Cette pièce est le bord de fuite d'une aube turbo-machine en cours de coulée. Le métal 49 progresse à l'intérieur de la cavité 50 laissée à l'intérieur du moule 51.

5 A l'extrémité de cette cavité se trouve un petit canal 52 de 1 mm de hauteur x 2mm de largeur. Ce canal débouche dans un tuyau 53 relié à une source de vide 54 par l'intermédiaire d'une vanne assitée 55.

Des moyens sont prévus et notamment le câble 56 pour transmettre au pilote des indications de pression et pour lui permettre d'effectuer un pilotage de la dépression dans la cavité au fur et à mesure de l'avance du métal. Ces moyens sont du même type que ceux décrits précédemment et utilisés pour asservir la pression de refoulement. Le pilote asservit dans ce cas un vide-pression de façon à aspirer la bulle de gaz emprisonnée par le métal dans la cavité 40 lors de son évolution et de permettre ainsi une bonne pénétration du métal dans tous les points de l'empreinte en conduisant un état de surface satisfaisant.

Une électrode 57 est mise en place dans certains cas pour remplir le rôle de capteur de présence et initier la phase de vide-pression dirigée par le pilote. En phase série, 56 et 57 sont supprimés et les déclenchements s'effectuent par des temps mémorisés dans le pilote.

En se reportant à la figure 6, nous voyons un dispositif de calage des moules, utilisé en phase de mise au point. Ce dispositif comporte essentiellement un coffre métallique 58 à l'intérieur duquel sont positionnés les noyaux d'un moule en sable 59. Sous l'action de la poussée 25 du métal 60 s'élevant dans l'empreinte du moule, ce dernier supporte des contraintes qui tendent à l'élever par rapport au plateau fixe 61. Des moyens sont prévus pour le maintenir en place. A cet effet, des règles 62 sont fixées par clavetage en travers de la portée supérieure 63 du coffre 58. Des vis 64, solidaires des règles précédentes appliquent frontalement les noyaux du moule 59 vers la base du coffre par l'intermédiaire de cales 65. Le moule et le coffre se trouvent alors solidarisés. Pour les appliquer contre le plateau fixe 61, des barres 67 et 68 transmettent un effort vertical de haut en bas exercé par le plateau mobile 69. Différents types de cales 70 et 71 sont prévus pour adapter ce système aux différentes dimensions de moules et de coffres.

La figure 7 représente un système de calage utilisé en stade de production. Il est adapté aux positionnements successifs de moules de dimensions différentes. Pour ce faire, les différents moules sont main-

- tenus en place dans des coffres 72 ou 73 par l'intermédiaire de systèmes règles-vis-cales du type décrit dans la figure 5. Un couple de vérins 74 est solidaire du plateau mobile 69. Des moyens sont prévus pour déplacer symétriquement ces deux vérins de part et d'autre de l'axe de la machine de coulée. Les flèches f1 et f'1 symbolisent ces mouvements. De plus, les tiges 75 sont mobiles verticalement par rapport à chacun des vérins et se terminent par un épaulement 76. Les flèches f2 et f'2 rendent compte de ces mouvements. Lors de chaque mise en place de moules, le type de la pièce correspondante est prise en compte par le pilote 40. Celui-ci possède en mémoire la position des vérins correspondant au type de la pièce. Il commande automatiquement, par l'intermédiaire du cerveau moteur 77 le déplacement suivant f1 de l'axe des deux vérins de façon à les amener en regard de la portée supérieure des deux coffres métalliques. Le pilote commande ensuite le déploiement des deux vérins 74. Les deux épaulements 76 viennent plaquer le coffre 73 contre le plateau fixe 61. Une fois la coulée terminée, le pilote commande la rentrée des deux tiges de vérins 75. Le moule et le coffre contenant la pièce fraîchement coulée peuvent être évacués du système.
- On se rend compte que les procédés et dispositifs décrits précédemment permettent de maîtriser complètement les conditions dynamiques, statiques et thermiques de chaque coulée, suivant des caractéristiques prédéterminées réglables. Les conditions imposées au cours de la coulée prennent en compte les différents types de variations aléatoires qui peuvent intervenir lors d'un moulage. Dans ce cas, le déroulement des coulées est parfaitement indépendant de la baisse du niveau du métal dans le creuset, des fuites de gaz de refoulement et des pertes thermiques. Les conditions de coulée sont entièrement reproductibles et conduisent à des séries de pièces tout à fait identiques en qualité.

On se rend compte également que le procédé décrit rationalise les déroulements successifs d'une série de pièces d'un type donné. Il propose des solutions adaptées aux stades de mise au point et aux stades de production en série. Chaque démarrage de série ne nécessite alors que des opérations humaines très limitées.

Par ailleurs, on réalise que les matériels décrits sont simples mais cependant précis et efficaces dans leurs actions. Le système de capteur à ultrasons élimine les problèmes d'encrassements. Le procédé de vide-

pression régulé autorise la fabrication de pièces très fines qui, jusqu'ici, étaient très difficiles à obtenir par moulage. Enfin, les systèmes de calage proposés simplifient considérablement la mise en place des moules.

- 5 On remarquera que les procédés décrits peuvent s'adapter à tous matériaux moulables tels le magnésium, l'acier ou les matières plastiques et que les dispositifs considérés peuvent être appliqués à tout appareil de coulée sous pression. L'origine du mouvement du métal provoqué par un débit de gaz peut tout à fait être remplacé par un liquide, un champ tournant ou une pompe électro-magnétique. Il suffit, en effet, de connaître la corrélation qui existe entre la hauteur du métal dans le tube d'injection et le facteur qui a provoqué son mouvement. Cette corrélation peut être, dans tous les cas, établie mathématiquement ou expérimentalement.
- 10 15 L'invention ayant maintenant été exposée et son intérêt justifié par des exemples détaillés, la demanderesse s'en réserve l'exclusivité, pendant toute la durée du brevet, sans limitation autre que celle des termes des revendications ci-après.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'automatisation d'un cycle de coulée du type à basse pression d'un métal dans un moule qui consiste :

- à comprimer à l'aide d'un fluide de refoulement le métal en fusion contenu dans un four fermé,
 - à refouler ainsi le métal liquide dans un moule situé à la partie supérieure du four par l'intermédiaire d'un tube d'injection plongeant dans le four et débouchant dans ce moule,
 - à faire subir au métal un cycle divisé en phases destinées à adapter les caractéristiques de la coulée aux étapes d'évolution du métal dans le moule,
 - chaque phase étant définie, notamment :
 - . par des caractéristiques de temps,
 - . par des caractéristiques associées à l'état du métal au cours de cette phase, notamment la vitesse d'élévation du métal et la pression de masselotage, ces caractéristiques étant choisies de manière à être liées biunivoquement par un coefficient dépendant du niveau du métal dans le four et évoluant en fonction du nombre des coulées effectuées, à l'état d'une variable intensive unique d'action sur le système, notamment la pression de refoulement,
 - à imposer préalablement à la coulée les caractéristiques jugées idéales pour le cycle d'action,
- ledit procédé étant caractérisé en ce que on asservit
- . durant la coulée les variations de la variable intensive d'action sur le système à l'établissement réel des caractéristiques de variation de l'état du métal choisies pour chaque phase,
 - . en tenant compte des phénomènes aléatoires non déterminés accompagnant la coulée, ceci en mesurant en cours de coulée ledit coefficient de dépendance avec le niveau initial du métal,
- (ce grâce à quoi on impose réellement au métal des conditions fixées à l'avance adaptées à ses étapes d'évolution dans l'appareil de coulée et aux étapes de surpression.

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel les indications de temps, relatives aux débuts et fins de phases, sont définies par l'une des options suivantes :
- détermination préalablement à la coulée des durées de phases,
 - 5 - arrêt de phases en cours de coulée par le métal lui-même rencontrant des organes sensoriels, capteurs de présence du métal,
 - informations de changement de phases données par des organes de mesure,
- 10 ledit procédé étant caractérisé en ce que au moins une consigne est donnée en cours de coulée par un organe sensoriel activé par le métal et au moins une consigne de temps est imposée au cycle avant la coulée,
- (ce grâce à quoi on effectue un phasage
- 15 (adapté à la fois aux évolutions dynamiques
- (et aléatoires du métal et à la fois aux évolutions statiques du métal à prévoir par
- (avance en durée.
3. Procédé d'automatisation suivant l'une des revendications 1 et 2,
- 20 dans lequel le cycle de coulée comporte huit phases de base, ledit procédé étant remarquable en ce que les caractéristiques de ces phases sont les suivantes :
- phase 1 : on ouvre le circuit de fluide de refoulement, on fait monter le métal dans le tube d'injection à partir de son niveau dans le creuset avec une vitesse constante pouvant être rapide ;
 - 25 - phase 2 : le métal sort du tube d'injection, on l'introduit dans le cône d'entrée du système de coulée avec une vitesse constante ralentie ;
 - phase 3 : on remplit de métal le système de coulée avec une vitesse d'écoulement fonction du dessin dudit système, respectivement variable avec les pièces à réaliser ;
 - 30 - phase 4 : on emplit l'empreinte de métal avec une vitesse fonction de la forme géométrique de la pièce ;
 - phase 5 : on établit une surpression avec une vitesse et une accélération évitant les coups de bélier ;
 - 35 - phase 6 : on établit une surpression s'ajoutant à la surpression précédente dans un temps très court

- . la somme de ces deux surpressions représentant la pression de masselotage et s'exerçant avant que la pièce ne commence sa solidification
 - . et ces surpressions étant fonction des caractéristiques de la pièce à réaliser ;
- 5 - phase 7 : on maintient la surpression pendant une durée définie par l'une des options suivantes
- . un temps défini à l'avance,
 - . ou une fin commandée par un organe sensoriel ;
- 10 - phase 8 : on décomprime, le métal redescend dans le tube d'injection ;
- (ce grâce à quoi on associe une phase d'action sur la coulée à chacune des étapes successives d'évolution du métal dans le système permettant d'adapter chacune de ces phases aux conditions jugées optimales à faire subir au métal et en imposant pour chaque phase un nombre minimal de paramètres dynamiques.
- 15
- 20 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, consistant à utiliser, pendant les phases d'essais, au moins un capteur de présence situé notamment à la partie supérieure du tube d'injection, capable de rendre compte des mouvements du métal et destiné à coordonner le déroulement desdites phases du procédé de coulée à celui des étapes suivies par le métal,
- 25 ledit procédé étant caractérisé en ce que l'on enregistre les indications de temps que délivrent les organes sensoriels de façon à les exploiter, notamment statistiquement, à la fin de la coulée pour les utiliser lors des phases de production en série.
- 30 5. Procédé destiné à simplifier les matériels utilisés dans la phase productive d'un des procédés selon les revendications 1 à 3 consistant notamment :
- à établir de façon théorique les caractéristiques du moule nécessaires à la série de pièces à effectuer,
 - à réaliser l'équipement nécessaire à la mise en oeuvre du procédé,
 - à effectuer une série d'essais suivant le procédé revendiqué en 4, notamment à l'aide de moules possédant trois électrodes
- 35

- afin de définir le cycle optimal de coulée ;
ledit procédé étant caractérisé en ce que :
- on dépouille, notamment statistiquement, les résultats fournis par les organes sensoriels,
 - 5 - et dans le cas où ces données de temps sont suffisamment homogènes, on réalise l'étape de production de la série de pièces en utilisant un seul capteur de présence
 - . ce dernier permettant à l'aide d'un principe connu en lui-même d'évaluer pour chaque coulée le coefficient de dépendance entre la variable intensive d'action et les caractéristiques du cycle
 - . et éventuellement interrompant une des phases d'action pour faire démarrer la suivante. Les phases non interrompues par cet organe ayant une durée définie égale à 10 l'optimum trouvé pendant les essais statistiques.
- 15 6. Procédé destiné à améliorer la rapidité de mise en oeuvre de la coulée d'une chaîne de pièces, complétant le procédé revendiqué en 5, caractérisé en ce que :
- on met en mémoire, en corrélation avec chaque type de 20 pièce, les caractéristiques de cycle jugées optimales, statistiquement obtenues à la suite d'essais de mise au point,
 - on met en route la coulée d'une pièce en imposant, par asservissement de moyens adaptés, la réalisation des caractéristiques isolées avant la coulée,
 - (ce grâce à quoi on diminue et rationalise
 - (les tâches accompagnant les mises en oeuvre
 - (successives de pièces de différents types.
- 25 7. Procédé selon les revendications 2 à 6, caractérisé en ce que on utilise au moins un capteur de présence situé à l'extérieur du chemin suivi par le métal.
- (ce grâce à quoi cet appareil n'est pas
 - (perturbé par un encrassement dû à la
 - (succession des coulées.
- 30 8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que :
- on utilise un capteur de présence formé d'un générateur, d'un émetteur, d'un récepteur et d'un analyseur de faisceau d'ondes,
 - on émet un faisceau d'ondes en direction d'un point du

trajet du métal au cours de la coulée,

- on reçoit les faisceaux provoqués par les réflexions successives sur les différentes couches de matière en regard de l'émetteur,
- 5 - on en déduit, par l'intermédiaire de l'analyseur, la présence ou non du métal en regard de l'émetteur.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'on impose le suivi de la caractéristique d'au moins une des phases de la façon suivante :

- 10 - on choisit les caractéristiques à faire suivre à la phase,
- on divise l'échelle des temps en pas élémentaires successifs,
- on en déduit la valeur souhaitée de la variable intensive d'action,
- on établit la corrélation entre chaque pas temporel et la valeur correspondante de la variable intensive d'action sur le système, notamment la pression de refoulement,
- on mémorise la corrélation effectuée,

lors du déroulement de l'échelle des temps devant chaque pas,

- 20 - on isole la valeur mémorisée de la variable d'action correspondant à l'état souhaité des caractéristiques locales de la phase durant ce pas,
- on mesure la valeur réelle de la variable intensive d'action,
- si la valeur souhaitée est supérieure à la valeur réelle, on active des organes destinés à incrémenter la variable d'action,
- 25 - si la valeur souhaitée est inférieure à la valeur réelle de la variable d'action, on active des organes destinés à décrémenter cette dernière.

10. Procédé selon la revendication 9 au cours duquel on utilise comme variable intensive d'action sur le système la pression de refoulement et caractérisé en ce que :

- avant la coulée :
 - . on évalue une gamme à l'intérieur de laquelle évoluera la variable intensive d'action sur le système, notamment la pression de refoulement,
 - . on divise cette gamme en nombre, notamment fixé de pas égaux,
 - . on choisit la longueur des pas de temps en fonction de celle des pas de pression de refoulement,

- . on associe, d'une part à la valeur souhaitée de la pression de refoulement, et d'autre part, à la valeur réelle de cette dernière, le pas de la gamme qui leur correspond,
- 5 - en cours de coulée :
- . on effectue la comparaison décrite dans le procédé revendiqué en 9 de ces deux valeurs en comparant la position de leurs pas associés,
 - (ce grâce à quoi le choix de la gamme permet de s'adapter aux différentes hauteurs
 - (de pièces, et l'adaptation de la longueur
 - (des pas de temps à celle des pas de pression permet d'adapter la précision de régulation à la valeur souhaitée.
- 10 15 11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10 dans lequel on assure la non-déformation du moule sous l'effet de la poussée du métal :
- en fixant le moule dans un coffre rigide, notamment métallique, adapté à sa taille et à sa géométrie,
 - en compensant la poussée du métal tendant à éléver l'équipage moule-coffre par l'intermédiaire d'organes de calage agissant sur le coffre, ces organes ayant une géométrie et une position variables adaptées au coffre,
- 20 25 Iedit procédé étant caractérisé en ce que :
- on stocke dans un système mémoire la corrélation existant entre chaque type de pièces et les évolutions adaptées à cette pièce des organes de calage du coffre,
 - au cours de chaque coulée, on fait effectuer aux organes de calage les évolutions nécessaires par l'intermédiaire d'un pilote automatique en identifiant au pilote la pièce à couler, ce dernier demandant et recevant de l'ensemble mémoire, grâce à cette identification, les informations nécessaires à son action et activant en conséquence le mouvement des organes de calage.
- 30 35 12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que on maintient en place les noyaux du moule à l'intérieur du coffre en les appliquant frontalement vers le bas du coffre par l'intermédiaire d'au moins une vis solidaire du coffre, les vis étant reliées au

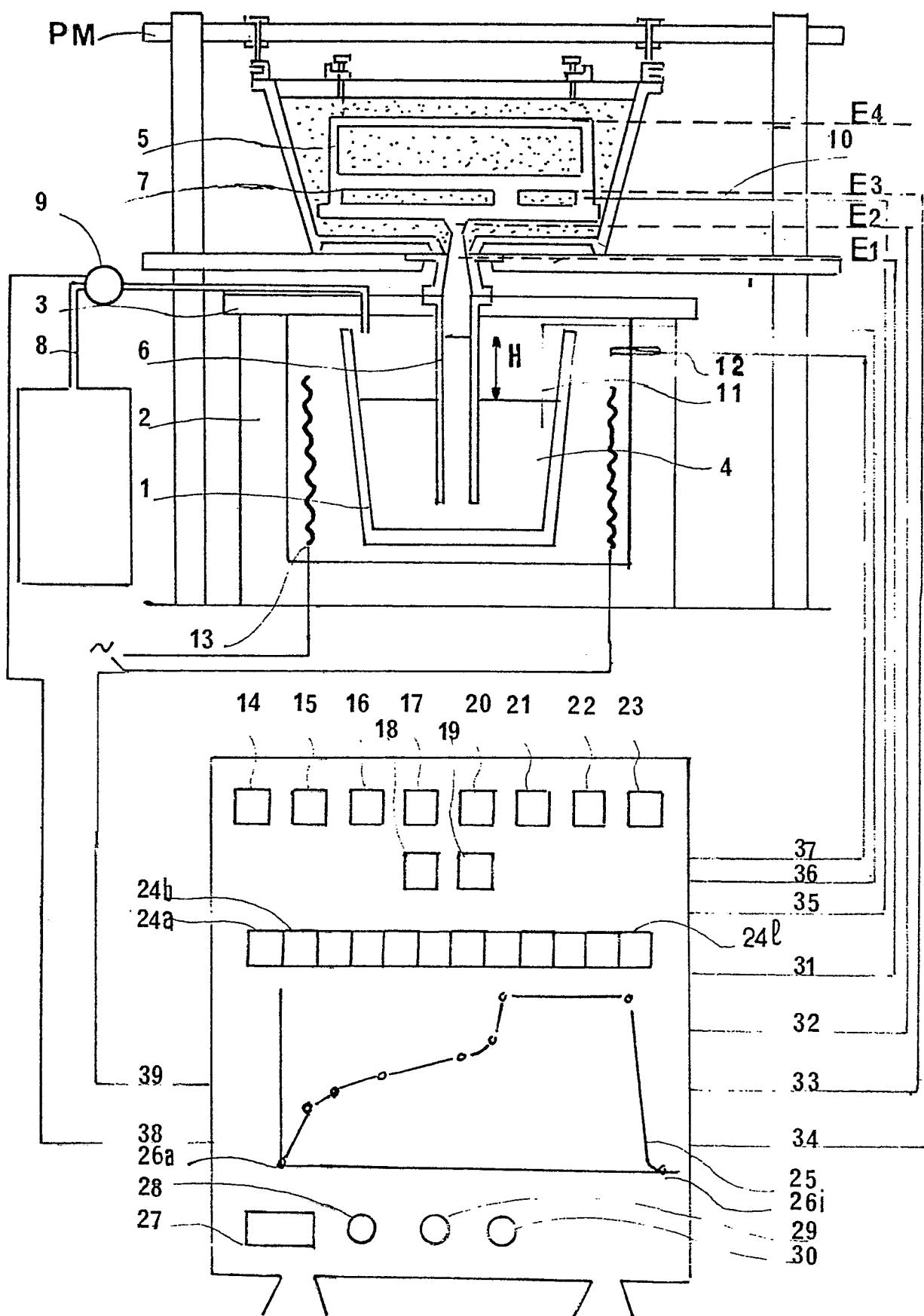
coffre, notamment par l'intermédiaire de règles liées par clavettes au coffre et le traversant à sa partie supérieure,

(ce grâce à quoi on confie à l'homme les tâches nécessitant de la précision telles que le maintien du moule dans le coffre et on confie à un automate les tâches plus grossières de calage du coffre.

- 5 13. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que on choisit parmi les caractéristiques optimisées du cycle la température du métal dans le four.
- 10 14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, appliqué au moulage des pièces possédant des parties de faible épaisseur et caractérisé en ce que :
 - 15 - on utilise des moules comportant au moins une solution de continuité entre une cavité intérieure destinée à former une partie fine de la pièce et l'extérieur du moule,
 - on dépressurise en cours de coulée et par l'intermédiaire de ladite solution de continuité la bulle de gaz emprisonnée par le métal évoluant dans ladite cavité intérieure.
- 20 15. Procédé selon les revendications 6 et 14, caractérisé en ce que on choisit parmi les caractéristiques optimisées imposées en cours du cycle les variations de la pression dans la cavité emprisonnant la bulle de gaz.
- 25 16. Dispositif relié à un système de coulée basse pression et ses accessoires, destiné à en piloter les phases de fonctionnement de façon à optimiser la qualité et la rapidité de sa production en mettant en oeuvre l'un des procédés décrits dans les revendications 9 à 14 et comprenant de façon caractéristique :
 - 30 - un ensemble entrées-sorties prenant en charge les indications sur les différentes variables d'action, aussi bien réelles et délivrées par des organes de mesure situés sur le dispositif de coulée, que souhaitées et transmises par l'opérateur, de façon à les délivrer sous forme numérique et les transmettre à un calculateur,
 - 35 - un ensemble calculateur reliant les caractéristiques de phases aux évolutions nécessaires à imposer à la variable d'action et effectuant les calculs annexes nécessaires au déroulement du procédé, ce calculateur étant relié, d'une part, à un ensem-

- ble de mémoires et, d'autre part, à un organe de décision,
- un ensemble mémoires stockant de façon transitoire les informations à utiliser en cours de coulée et éventuellement sur une longue durée des informations générales sur la coulée,
 - 5 - un système d'horloges relié à un ensemble programmé rythmant les activités de chacun des organes,
 - un organe de décision activant des organes d'action sur le système, notamment des vannes, et recevant ces informations, notamment de la part de l'ensemble mémoires et de l'ensemble entrées-sorties de l'ensemble programmé et du système d'horloges.
- 10 17. Moule destiné à la confection de pièces comportant des parties fines selon l'un des procédés revendiqués en 14 et 15 et caractérisé en ce que il comporte une solution de continuité entre une cavité intérieure de faible dimension transversale et l'extérieur.
- 15 18. Système générateur, émetteur, récepteur et analyseur de faisceaux d'ondes, notamment d'ultrasons, permettant la mise en oeuvre du procédé revendiqué en 4 et caractérisé en ce que sa pastille émettrice-réceptrice dirige son faisceau d'ondes en direction du trajet du métal et est situé à l'extérieur d'une paroi délimitant l'évolution de ce métal.
- 20

FIG1



0055947

2/4

FIG 2

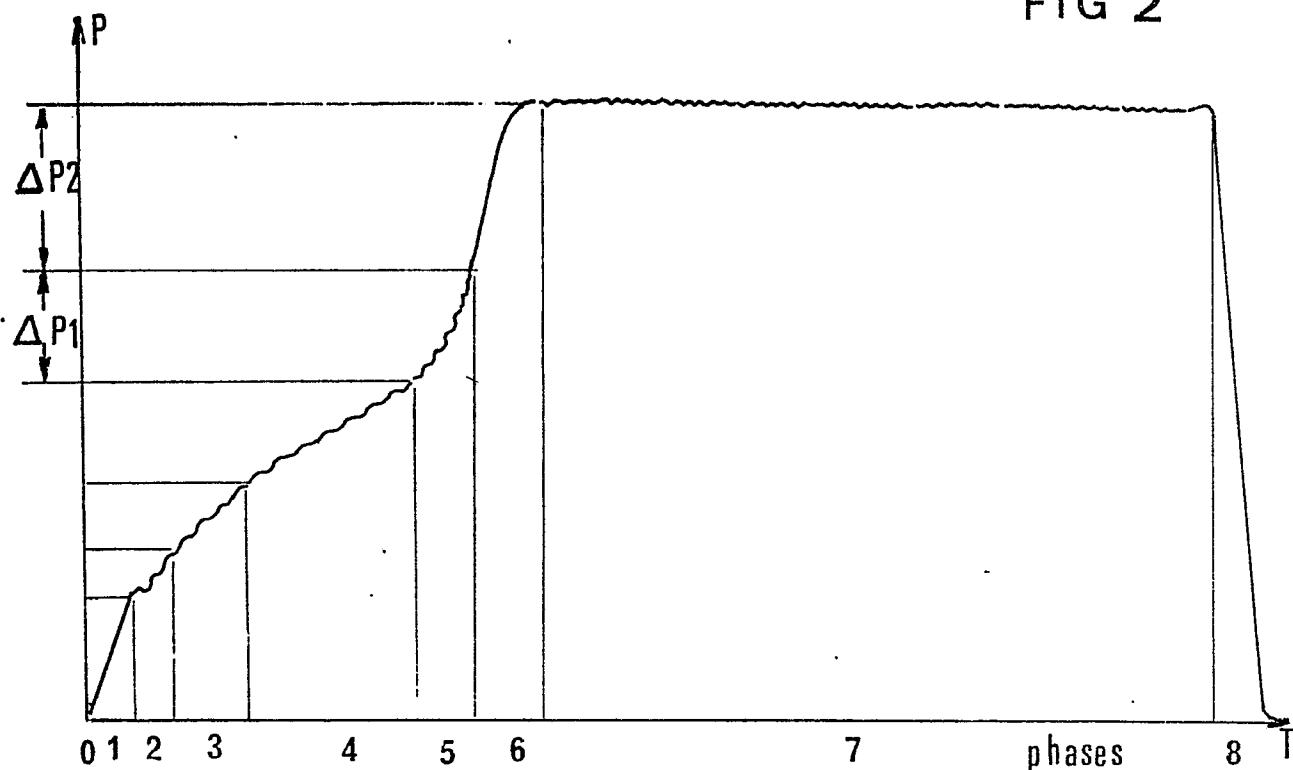
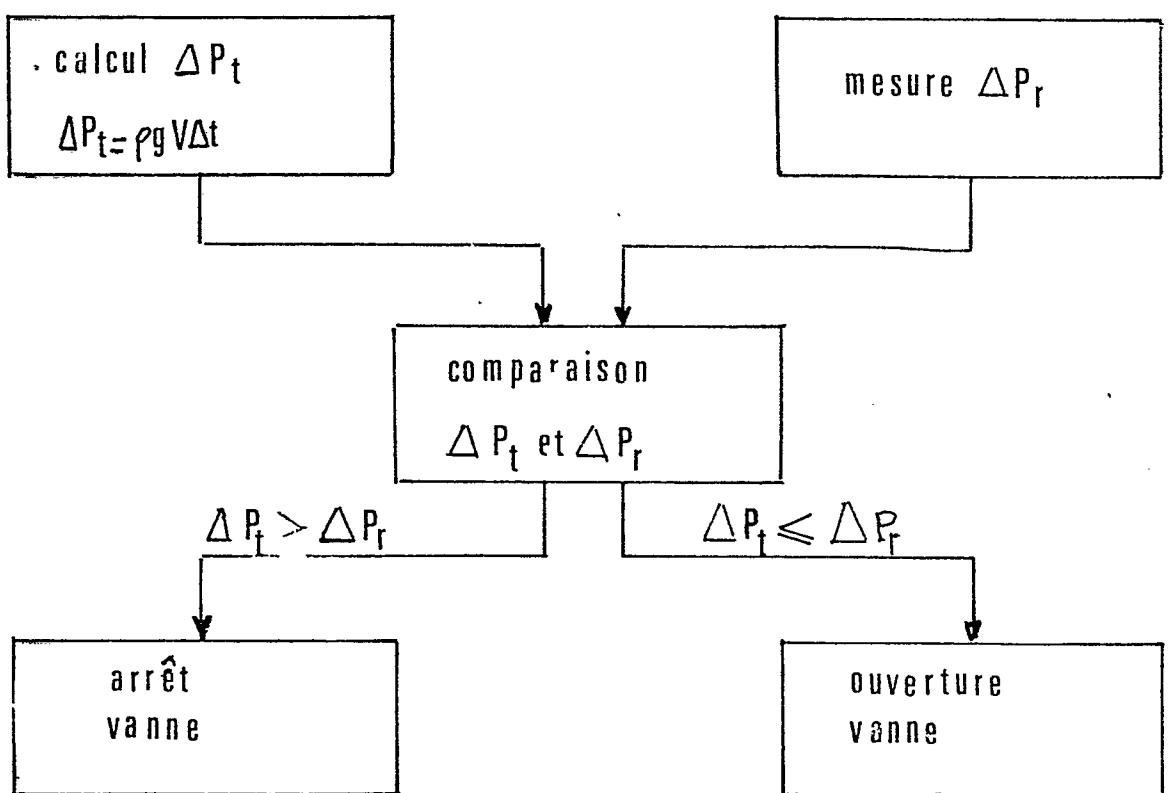


FIG 3



0055947

3/4

FIG4

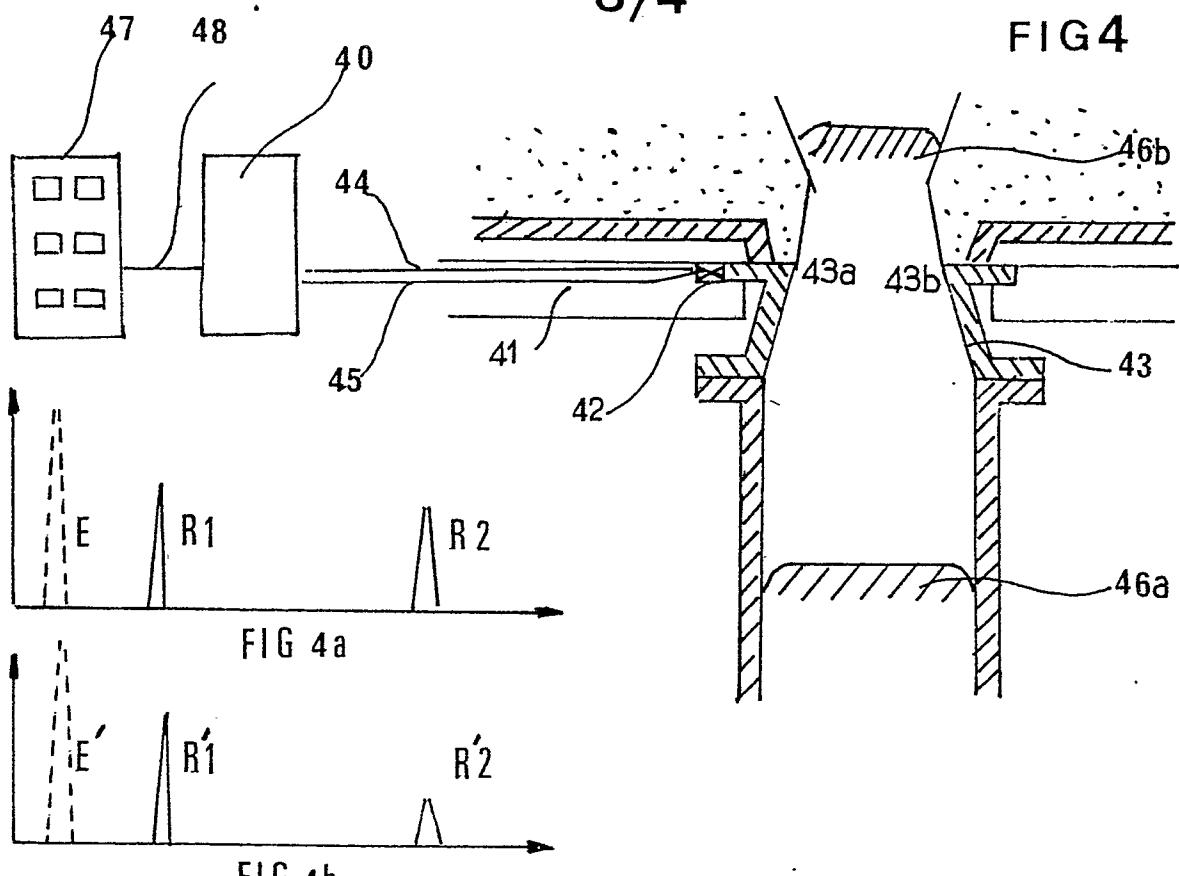
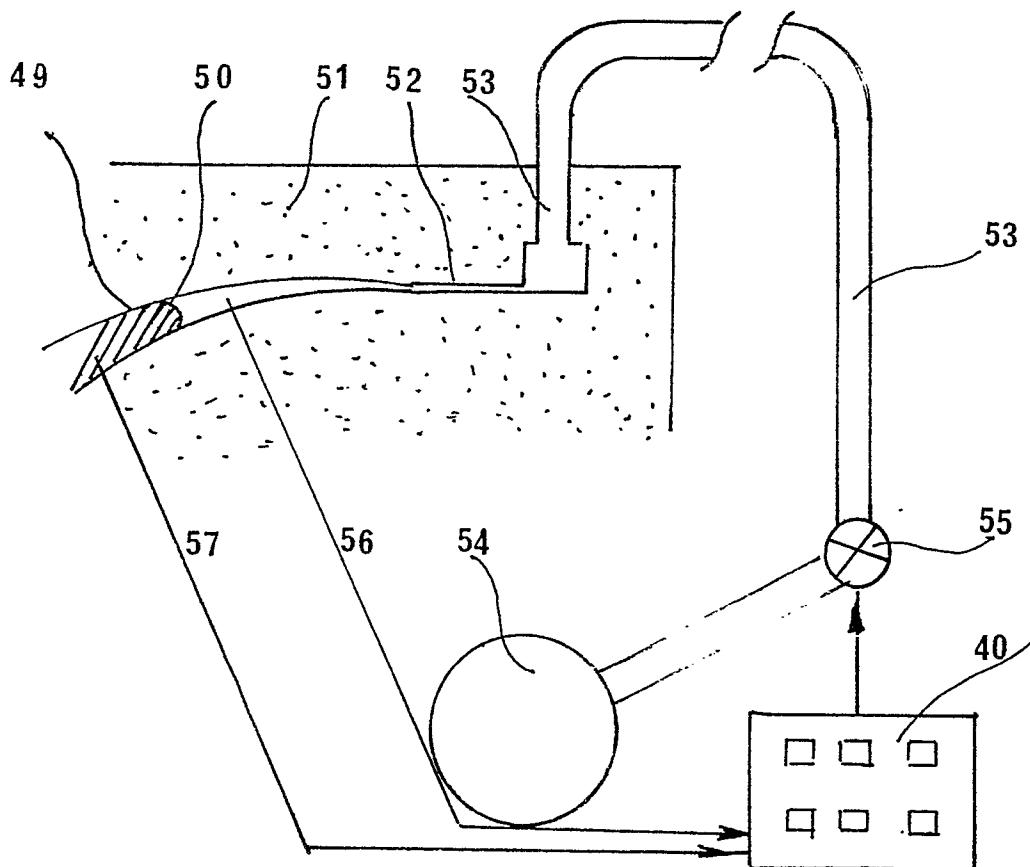


FIG5



0055947

4/4

FIG 6

