



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 24 924 T2 2004.07.22**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 850 117 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 24 924.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FR97/00515**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 916 484.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 97/035679**

(86) PCT-Anmeldetag: **24.03.1997**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **02.10.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.07.1998**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **17.09.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **22.07.2004**

(51) Int Cl.7: **B22D 46/00**  
**B22D 18/08**

(30) Unionspriorität:  
**9603904 25.03.1996 FR**

(73) Patentinhaber:  
**Merrien, Pierre, Billere - Pau, FR**

(74) Vertreter:  
**HOFFMANN · EITLE, 81925 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, ES, GB, IT**

(72) Erfinder:  
**gleich Anmelder**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR SIMULATION DES FÜLLVORGANGES VON GIESSFORMEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Simulation des Fließvorganges von Metall in Gießformen, das dazu bestimmt ist, konkret die Phänomene zu visualisieren, die während des Füllvorganges bei den verschiedenen Gießmethoden auftreten:

- durch die Schwerkraft
- durch «Gegenkraftguß», dieser Ausdruck kennzeichnet die Gießverfahren bei denen das Metall durch andere Kräfte als die Schwerkraft in Bewegung versetzt wird und

insbesondere findet man in dieser letzten Gruppe das unter Niederdruck gesteuerte Gießen einer unter Vakuum gehaltenen Gießform.

[0002] Diese konkrete Simulation wird durchgeführt:

- in mit Hilfe von reellen Gießmodellen erhaltenen Gießformen mit reellen Strukturen und Abmessungen,
- wobei die Gießformen transparent sind,
- und die für die üblichen Fälle (Aluminium, Magnesium) benutzten Flüssigkeiten dieselben Fließeigenschaften (Dichte, Viskosität) haben wie die betroffenen reellen Legierungen.

[0003] Es ist bekannt, daß man beim Gießen die zwei folgenden Hauptprobleme findet:

- die Beherrschung des Metallfließvorgangs,
- und die Beherrschung des Wärmeflusses.

[0004] Der erste Punkt betrifft den Füllvorgang der Gießform, während dem Turbulenzen Blasen und Oxide erzeugen können, die im Metall eingeschlossen bleiben.

[0005] Der zweite Punkt betrifft den Wärmeaustausch zwischen dem Metall und der Außenwelt, d. h. Gießform und Atmosphäre. Dieser Wärmeaustausch beginnt ab dem Anfang des sich in Abhängigkeit seiner Eigenschaften (Geschwindigkeit, Zeit, ..) ändernden Füllvorganges. Der Metallfließvorgang und der Wärmefluß sind also miteinander verbunden.

[0006] Der Stand der Technik hat sich insbesondere seit den Jahren 1950 bemüht, diese beiden Probleme in zwei Stufen zu lösen:

- 1) In dem Zeitraum 1950 – 1980 sind Studien unter makroskopischer Anwendung der Gesetze der klassischen Physik unternommen worden
  - Gesetze der Mechanik flüssiger Körper, um die besten Formen für Gießsysteme (Abstichlöcher, Abstichrinnen, Speisung) zu bestimmen,
  - Gesetze der Thermodynamik und der Mechanik, im wesentlichen die der Leitfähigkeit, der Konvektion, der Strahlung, der Zustandsänderungen, um den Wärmeaustausch in den Gießformen zu studieren, wobei die komplexen Formen auf Kombinationen einfacher Elementarformen (Platten, Zylinder, Kugeln), bei denen man in der Lage war,

den Wärmeaustausch mit der Außenwelt zu berechnen, zurückgeführt werden.

2) In dem zweiten Zeitraum ungefähr ab dem Jahre 1980, die Benutzung von immer leistungsfähigeren Computern hat die Entwicklung von Verfahren ermöglicht, die eine genaue Berechnung der Eigenschaften von zwei Fließvorgängen ermöglichen

- für den Fließvorgang von Metall bestimmen die Simulationsverfahren, ausgehend von einem definierten Fließsystem, den Geschwindigkeitsvektor in jedem Punkt der Gießform (Betrag und Richtung), wodurch es also ermöglicht wurde, Bereiche mit Turbulenzen, Luftmitführung, nicht ausgefüllte Teile der Form etc. vorherzusehen. Durch Iteration kann die Zeichnung des Fließsystems solange verändert werden, bis beim Metall ein wahrscheinliches, zufriedenstellendes reelles Ergebnis in der späteren Schmelze erhalten wird,
- für den Wärmefluß bestimmen die Simulationsverfahren für eine definierte Gießformstruktur (Geometrie, Natur der Materialien) die Entwicklung der Temperatur in jedem Punkt, d. h. also die Wahrscheinlichkeit von metallurgischen Fehlern (Lunkerungen, große Körnung ...).

[0007] Die Computer ermöglichen es also, die angegebenen Eigenschaften der Gießform durch Iteration zu verändern, um beim Metall, wie vorstehend beschrieben, eine zufriedenstellende Ergebniswahrscheinlichkeit zu erhalten.

[0008] Die aktuellen Simulationsverfahren sind gleichzeitig auf den Wärmefluß und den Fließvorgang von Metallen anwendbar und es handelt sich um Computerberechnungsverfahren, die ihre Rechtfertigung aus der Übereinstimmung mit den sich daraus ergebenden Konsequenzen, d. h. dem Vorliegen oder nicht von metallurgischen Fehlern an den berechneten Orten, beziehen.

[0009] Konkrete Visualisierungen des Fließens unter Schwerkraftwirkung sind gemacht worden, um die Gültigkeit der Berechnungen zu überprüfen. Zu diesem Zweck sind Schnitte der Gießform mit einer Ebene aus feuerfestem Glas ausgeführt worden, um den Fließvorgang des Metalls (Aluminium) oder das Fließen von Wasser zu überprüfen. Das sind also zweidimensionale Visualisierungen in einer Ebene.

[0010] Es ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung, eine konkrete Visualisierung des beim Metall auftretenden Fließens für die ganze Gießform und bei Umgebungstemperatur durchzuführen. Dieser Gegenstand wird durch ein Verfahren nach Patentanspruch 1 und eine Vorrichtung nach Patentanspruch 2 realisiert.

[0011] Zu diesem Zweck:

- 1) wird das Metall durch eine Flüssigkeit ersetzt, die für die üblichen Fälle wie Aluminium – oder Magnesiumlegierungen die gleichen Fließeigenschaften (Viskosität, Dichte) wie die betreffende Legierung hat. Diese Spezialflüssigkeiten werden

SIMALLOYS® genannt,

2) wird die Gießform mit den reellen Formen des zu untersuchenden Teils aus transparenten Wandungen hergestellt, d. h. ausgehend von dem reellen Gußmodell falls es existiert,

3) werden Visualisierungsvorrichtungen für Turbulenzen ausgeführt, um die verschiedenen Phasen filmen zu können,

4) werden die Fließvorgänge unter reellen Ausführungs-Bedingungen realisiert, d. h. mit Hilfe  
– eines Tiegels für den Fließvorgang unter Schwerkraftwirkung,  
– oder eines Apparates, der die verschiedenen Formen des Fließvorgangs unter Wirkung einer «Gegenkraft» insbesondere das unter Niederdruck gesteuerte Gießen einer unter Vakuum gehaltenen Gießform realisiert. Zu diesem Verfahren gehören ebenfalls Spezialvorrichtungen, die in die Struktur dieses Apparates gehören und speziell für das Verfahren geschaffen worden sind, damit die visualisierten Fließvorgänge nicht durch die Unvollkommenheiten solcher Vorrichtungen gestört werden. Es handelt sich insbesondere um gesteuerte Ventile und um ein neues Steuerungsverfahren dieser Ventile durch den Computer, der den Apparat steuert.

5) Die Visualisierungen ermöglichen es

– die Formen der Fließsysteme im wesentlichen für den Fall von Fließvorgängen unter Schwerkraftwirkung zu verändern,  
– aber sie ermöglichen es außerdem, bei den unter Schwerkrafteinwirkung gesteuerten Fließvorgängen die in dem Computer gespeicherten Parameter des Fließvorgangs (Flüssigkeitsgeschwindigkeit, Druck, Zeit, Vakuum ..) zu verändern, um das optimale Fließergebnis mit der Simulationsflüssigkeit zu erhalten. Diese Parameter werden anschließend in dem reellen Gerät für den Metallfließvorgang verwendet. Das Simulationsgerät hat also als wesentliches Ziel, die Fließparameter für den reellen Vorgang, ohne die Formen der Fließform verändern zu müssen, zu bestimmen, was einen sehr großen wirtschaftlichen Vorteil darstellt.

[0012] Das Simulationsgerät trägt für seine beiden Formen unter Schwerkraft- oder Gegenkraftwirkung die Bezeichnung SIMFLOW®.

[0013] Andere Kennzeichen werden beim Lesen der folgenden Beschreibung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens deutlich, wobei die Beschreibung nur als Beispiel dient und sich auf die im Anhang befindlichen Zeichnungen bezieht, auf denen:

– die **Fig. 1** das Schema einer Installation ist, die die Ausführung des Verfahrens für die Gesamtheit der unter « Schwerkrafteinwirkung » gesteuerten Fließvorgänge ermöglicht,  
– die **Fig. 2** das Schema einer Installation ist, die die Ausführung des Verfahrens für die Gesamtheit

der unter « Gegenkrafteinwirkung » gesteuerten Fließvorgänge ermöglicht,

[0014] In der auf der **Fig. 1** dargestellten Installation enthält ein dichter, durch eine Platte **2** geschlossener Behälter **1** eine zu den vorstehend SIMALLOYS® genannten Flüssigkeiten gehörende Flüssigkeit **3**, die die gleiche Viskosität und Dichte aufweist wie die später zum Fließen zu bringende Legierung.

[0015] Für die Aluminiumlegierungen  
– mit einer Dichte von 2,4 im flüssigen Zustand bei 750°C,  
– mit einer Viskosität von 1,05 bis 1,2 Zentpoise im flüssigen Zustand bei 750°C

wurde für diese Versuche eine Zinkchloridlösung  $ZnCl_2$  in Wasser bei 20°C, einer Dichte von 2,4 und einer Viskosität von 1,15 Zentpoise hergestellt.

[0016] Für die Magnesiumlegierungen  
– mit einer Dichte von 1,6 im flüssigen Zustand bei 750°C,  
– mit einer Viskosität von 1,05 bis 1,15 Zentpoise im flüssigen Zustand bei 750°C

wurde eine Zinkchloridlösung bei 20°C, einer Dichte von 1,6 und einer Viskosität von 1,1 Zentpoise hergestellt.

[0017] Diese Flüssigkeiten sind leitend, um die Erfassung Ihres Durchflusses auf elektrischen Sensoren zu ermöglichen, wobei Drähte, die vorher auf ein unterschiedliches Potential gebracht worden sind, geerdet sind. Übrigens haben diese Flüssigkeiten keine Korrosion der metallischen Materialien des Behälters oder der organischen Materialien der Gießform und des Injektionsrohres zur Folge. Andere Zusammensetzungen können ins Auge gefasst werden.

[0018] Die verschiedenen Flüssigkeiten werden in den Behälter eingeleitet oder daraus mit einer Pumpe **4** abgeführt, die den Eingangs- bzw. Ausgangsventilen **5** bzw. **6** und den Speichern **7** des besagten Behälters zugeordnet ist. Die Flüssigkeiten enthalten unter anderem folgendes:

– eine Spülwasserleitung,  
– und eine Essigsäurelösung in Wasser mit 30 g/Liter Lösung, die benutzt wird, um das Fließen in besonderen Punkten zu visualisieren, da diese Lösung unmittelbar durch Elektrolyse, z. B. bei 24 V, feine Blasen ergibt, die am Ende eines am Untersuchungsort angebrachten Metalldrahtes entstehen.

[0019] Die Zinkchloridlösungen ergeben hingegen durch Elektrolyse Bilder von braunen Partikel, die sich nicht wieder auflösen und die Flüssigkeiten verdunkeln. Die Visualisierung wird also durch Kugeln aus reinem anodisch oxydiertem Aluminium, die die gleiche Dichte aufweisen wie die Flüssigkeit oder für das Magnesium durch Kugeln aus einem Polymer mit

der Dichte 1,6 vorgenommen. Die Kugeln werden durch einen mit einem Motor **9** ausgerüsteten Rührer **8** in Bewegung gebracht.

[0020] Die Platte **2** trägt ein transparentes Rohr **10** aus Plexiglass, das die Gießform mit der Flüssigkeit verbindet. Die Platte **11** mit einstellbarer Höhe trägt das Rohr **10** mit seinen Dichtungen und der Gießform **12**.

[0021] Diese besteht aus Wandungen von ca. 6 bis 8 mm Dicke aus einem gießbaren, transparenten Polymer, indem sich bei Umgebungstemperatur z. B. Polyester oder Epoxydharz polymerisieren. Die Form wird durch Guß auf das durch reelle Metallverarbeitung erzeugte Gießmodell erhalten. Blöcke und Kerne werden wie bei dem realen Modell aus Sand zusammengesetzt und wieder gegossen.

[0022] Um den Luftablass aus dem Abdruck dieser nicht permeablen Gießform zu ermöglichen, werden mit Elektroventilen **14** ausgerüstete Rohre **13** auf der Gießform angeordnet. Sie bleiben während des Füllvorganges geöffnet und werden von dem Computer **0** geschlossen, sobald ein Anwesenheitssensor **15** im oberen Teil der Gießform angibt, daß der Füllvorgang beendet ist.

[0023] Ein identischer Ausgang **16** mit ihrem Elektroventil **17** trägt einen Drucksensor **18**, der den Druck in der Gießform während der Vakuumerzeugung bzw. des Füllvorgangs misst. Die Information wird zum Computer übertragen, der sie für seine Steuerungsberechnungen benutzt.

[0024] Anwesenheitssensoren **19** mit einer schon auf Seite 4 Zeile **20** erwähnten elektrischen Erfassung und mit auf ein Potential von ca. 24 V gebrachten Metalldrähten werden in der Gießform angeordnet, um dem Computer die Anwesenheit der Flüssigkeit anzuzeigen und der die Sensoren auf das Potential **0** bringt. Diese Sensoren werden an Orten angebracht, an denen die Untersuchung der Zeichnung des Teils vorsieht, daß Geschwindigkeitsänderungen der Flüssigkeit erforderlich sind.

[0025] Die Gießform befindet sich unter einer transparenten, abgedichteten Vakuumglocke **20**, die folgendes aufweist:

- ein Stutzen **21**, der mit einer Vakuumpumpe **22** verbunden ist und der eine Einheit **23** trägt, die aus gesteuerten Kompressionsventilen besteht, die den in Zeile **33** Seite 6 beschriebenen gesteuerten Ventilen analog sind. Diese Ventileinheit wird durch einen Computer gesteuert. Die Leitung **21** trägt ebenfalls ein von dem Computer gesteuertes Absperrventil **24** und eine Schnell-Vakuumeinleitung mit einem gesteuerten Ventil **23<sub>1</sub>**, und, wie auf der Kompressionsleitung, mit einem Durchflußregler **23<sub>2</sub>**,
- ein Freiluftventil **25**, das es erlaubt, die Glocke in einer besonderen Phase des Zyklus auf den Atmosphärendruck zu bringen,
- einen der Referenz **18** analogen Drucksensor **26**, der, nachdem **18** außer Betrieb gesetzt worden ist, seine Funktion, nachdem die Gießform

gefüllt ist, übernimmt,

- den Ausgang der Anwesenheitssensoren **19**.

[0026] Um die Flüssigkeit in die Gießform aufsteigen zu lassen, wird der dichte Behälter **1** mit einer Leitung **27** zur Unterdrucksetzung, die folgendes aufweist, ausgerüstet:

- Stickstoffflaschen von 28 bis 200 Bar mit Druckminderventilen **29**, die in den Kreislauf einen Druck von 3 Bar abgeben,
- eine Gruppe gesteuerter Ventile mit zwei Leitungen,

– eine Leitung für die schnelle Kompression mit Hilfe eines mit einem Durchflußbegrenzer **30<sub>1</sub>** ausgerüsteten gesteuerten Absperrventil **30**. Diese Leitung dient anschließend für den Füllvorgang der Gießform.

– Die andere Leitung **31** für eine Kompression mit einer Genauigkeit in der Größenordnung von 1 Millibar, die in der Lage ist, der Flüssigkeit in der Gießform eine genaue Geschwindigkeit zu verleihen, die von einer Vertikalgeschwindigkeit von 0 cm/Sekunde (Unbeweglichkeit auf einem Niveau, das bestimmt werden kann) bis 15 cm/ Sekunde mit einem kontinuierlichen stufenlosen Fließen geht. Man weiß in der Tat, daß die gesteuerten Absperrventile (Öffnung bzw. Schließen sogar bei sehr hoher Geschwindigkeit) oder die bekannten Proportionalventile die beiden Ziele Unbeweglichkeit und Stufenfreiheit im Augenblick nicht erreichen können. Dieses Phänomen äußert sich bei der Flüssigkeit

– einerseits durch Impulse bei dem Füllvorgang mit schwachen oder abwesenden Geschwindigkeitsänderungen und hohen Geschwindigkeiten in der Nähe einer mittleren vorbestimmten Geschwindigkeit,

– andererseits durch Schwingungen der Flüssigkeitsoberfläche, wenn beabsichtigt wird, sie auf einem bestimmten Niveau zu halten, wie z. B. bei einer Schmelze, mit einem Niederdruck-Füllvorgang in einer offenen Gießform (um für den Fall von Metall eine Erstarrung unter Schwerkraftwirkung sicherzustellen). Diese Schwingungen der Oberfläche ergeben entsprechende Metallbewegungen während der Erstarrung in der Gießform mit ihren nachteiligen Folgen.

[0027] Die **Fig. 3** und **4** zeigen die zwei folgenden Fälle:

- eine Füll- und Haltekurve mit Impulsen (**Fig. 3**),
- eine Füll- und Haltekurve ohne Impulse (**Fig. 4**),

[0028] Die Visualisierung dieses Phänomens kann durch Wasserstoffblasen vorgenommen werden, die in einer Essigsäurelösung wie es auf Seite 4 Zeile **28** angegeben ist, erzeugt werden. In einem Haltezustand mit Impulsen zeichnen die Blasen bei jedem Impuls Turbulenzen in der Flüssigkeitsmasse (**Fig. 5**); im Haltzustand ohne Impulse lösen sich die

Blasen vertikal in parallelen Linien wie es auf der **Fig. 6** dargestellt ist.

[0029] Die Funktionsgenauigkeit wird für diese Leitung **31** erhalten:

- dank der von ihr getragenen Ausrüstungsstruktur,
- und durch das Steuerungsprinzip dieser Ausrüstung.

[0030] Die Ausrüstungsstruktur sieht folgendermaßen aus: diese Leitung **31** trägt eine Einheit **32** mit 15 gruppierten Umleitungen nach der **Fig. 7**: der Stickstoff kommt zur Kompression in A an und geht bei B hinaus; auf jeder Eingangsrampe trägt jede Umleitung mit den Nr. 2 bis 15 einen Durchflußbegrenzer **2<sub>1</sub>, 3<sub>1</sub>, ..., 15<sub>1</sub>** und ein gesteuertes Ventil **2<sub>2</sub>, 3<sub>2</sub>, ... 15<sub>2</sub>**. Diese beiden Ventile verfügen über einen geringen Durchfluß (Öffnungsdurchmesser 2 mm), welcher ebenfalls mit Hilfe des Durchflußbegrenzers bei der Einstellung des Gerätes geregelt wird. Sie können ab sehr geringen Drucken funktionieren, die nahe bei 0 liegen. Die Umleitung N° 1 trägt denselben Durchflußbegrenzer **1<sub>1</sub>** und ein mit den vorhergehenden Ventilen identisches Ventil **1<sub>2</sub>** und außerdem ein Nadel-drosselventil **1<sub>3</sub>**. Dieses Organ ist ein Durchflußregler, der so funktioniert, daß sich seine konische Nadel in einer Öffnung durch Drehung bewegt und fortschreitet, die die gleiche Kegelförmigkeit aufweist. Die Drehbewegung wird durch einen Schrittmotor **1<sub>4</sub>** vorgenommen, der in der Lage ist, sich in zwei Richtungen zu bewegen und vom Computer bewegt wird.

[0031] Diese Umlenkungseinheit **1** funktioniert in Verbindung mit einem identischen Teil der Leitung **33** auf der **Fig. 1**, die die Druckentlastung des Behälters vornimmt. Diese Leitung **33** wird in 2 Teile unterteilt

- eine Leitung **34**, die ein Ventil zur schnellen Druckentlastung und seinen Durchflußbegrenzer **35<sub>1</sub>** aufweist,
- und eine gesteuerte Leitung **36<sub>1</sub>**, die die Einheit **36** trägt, die dieselbe Struktur wie die Einheit **32** zur Kompression auf Seite 6 Zeile **33** aufweist (15 gesteuerte Ventile mit kleinem Durchfluß mit ihren Durchflußreglern plus ein Drosselnadelventil und ein gesteuerter Motor).

[0032] Das Steuerungsprinzip ist ein neues zur Erfindung gehörendes Prinzip. Es wird in zwei unterschiedlichen Phasen ausgeführt

- einerseits dem Einfüllvorgang der Gießform und dem Überdruck,
- andererseits das Aufrechterhalten des Druckes der die Erstarrungsphase darstellt wenn das Metall bearbeitet wird.

[0033] Während des Füllvorgangs: zu einem gegebenen Zeitpunkt t nach dem Beginn des Zyklus muß die Kompressionsvorrichtung eine Druckzunahmegeschwindigkeit von  $dP/dt$  in dem Behälter sicherstellen, welche während des Zyklus variiert und im Speicher des Computers gespeichert ist. Sie wurde

am Anfang durch eine Berechnung und dann durch vorhergehende Versuche bestimmt.

[0034] Um diese Druckerhöhung sicherzustellen, berechnet der Computer die Anzahl von Ventilen die er von den 15 Bestandteilen der Einheit **32** öffnen muß. Das Ventil **1<sub>1</sub>** ist geöffnet und das Drosselnadelventil **1<sub>3</sub>** befindet sich in der Stellung, die es am Ende des vorhergehenden Zyklus gehabt hat. Der Durchfluß dieser Umlenkungseinheit N° 1 entspricht den Lecks des Gerätes und diese Umlenkung N° 1 bleibt während des Füllvorgangs in dieser Stellung. Der Computer öffnet also n Ventile in der Gruppe N° 2 bis N° 15. Der auf dem Behälter befestigte Drucksensor **37** informiert den Computer über die Druckerhöhung in einem gegebenen Zeitintervall; wenn sie zu klein ist, öffnet der Computer andere Ventile, wenn sie zu groß ist, werden welche geschlossen.

[0035] Um die Druckkurven und damit die Bewegung des Metalls zu verfeinern, könnte man die Anzahl der Ventile erhöhen und ihren Einheitsdurchfluß vermindern. Die 15 Ventile sind für die durchgeführten Anwendungen ausreichend.

[0036] Die dem Füllvorgang folgende Kompression entspricht einer Druckerhöhung et entspricht also dem gleichem Steuerungsprinzip.

[0037] Während der Kompression unterliegt die Simulationsflüssigkeit denselben Bedingungen wie das Metall das sie ersetzt:

- wenn die Gießform geöffnete Gießtrichter aufweist, muß das Niveau stabil bleiben, wie es auf der Zeile **20** Seite 6 angegeben ist,
- wenn die Gießform geschlossen ist, äußern sich die Druckvariationen um ein mittleres Niveau herum nicht durch Metallbewegungen sondern stellen ein neues Element dar, dessen Konsequenzen offenbar noch nicht bekannt sind.

[0038] Um diese Druckstabilität in der Gießform zu erzeugen, führt das neue Prinzip der Verfahrenssteuerung die 2 Umlenkungen N° 1 der Einheiten **32** und **36** der Druck – und Druckentlastungsleitungen aus (Durchflußbegrenzer + Ventil + Drosselnadelventil + Motor).

[0039] Die Ventile **1<sub>2</sub>** der Einheiten **32** und **36** sind geöffnet, wie es auf Seite 7 Zeile **26** angegeben ist. Der Computer versetzt das Drosselnadelventil **1<sub>3</sub>** mit Hilfe des der Einheit **32** zugeordneten Motors **1<sub>4</sub>** und das Drosselnadelventil **1<sub>3</sub>** durch den der Einheit **26** zugeordneten Motor **1<sub>4</sub>** in Drehung, um den Druck in dem Behälter ohne Stöße zu stabilisieren.

[0040] Der Drucksensor **37** (Genauigkeit 1 Millibar) informiert den Computer, der mit den Motoren **1<sub>4</sub>** der beiden Leitungen funktioniert, um das Druckniveau in diesem Zeitintervall aufrecht zu erhalten. Dieses neue Ventilsteuerungsverfahren rechtfertigt den Ausdrück Orgelspielsteuerung<sup>R</sup>.

[0041] Für die Vakuumzyklen wird das gleiche Prinzip angewandt. Das Prinzipschema des Unterdruck – Gießzyklus mit der unter Vakuum stehenden Gießform ist in der französischen, als EP 0424413 veröf-

fentlichten Patentanmeldung N° 93 05580 beschrieben worden. Es ist auf der **Fig. 8** dargestellt.

[0042] Am Anfang des Zyklus befindet sich der die Flüssigkeit und die Gießform aufweisende Behälter **1** unter Atmosphärendruck. Das Freiluftventil **25** ist geschlossen, die Auslaßventile **24** der Gießform sind geöffnet. Das Verbindungsventil **24** mit der Vakuumpumpe **22** öffnet sich ebenso wie das Ventil **38**, das die Vakuumherstellung im Behälter erlaubt. Das Freiluftventil des Behälters schließt sich ebenso wie **35** (schnelle Druckentlastung). Die Einheiten der gesteuerten Ventile **23** zur Glocke und **36** zum Behälter sind betriebsbereit.

[0043] Der Computer weiß, daß er den Druck in den beiden Einfassungen (mit der Gießform) bis zu einem gegebenen Restvakuum  $V_R$  bei einer gegebenen Geschwindigkeit  $dP/dt$ , aber unter dauernder Beibehaltung eines Druckunterschiedes zwischen dem Behälter und der Gießform von 30 bis 40 Millibar, senken muß, wobei die Gießform unter dem niedrigeren Druck steht, um zu vermeiden:

- daß einerseits die Luft der Gießform nicht durch das Rohr in den Behälter gesaugt wird und die Flüssigkeit nicht verspritzt (das wäre der Fall, wenn die Gießform unter einem höheren Druck als der Behälter stehen würde),
- und um andererseits zu vermeiden, daß die Flüssigkeit während dieser Phase in die Gießform eindringt. Das wäre der Fall, wenn der Behälter unter einem zu hohen Druck stehen würde (40 Millibar = 16 cm Aluminium).

[0044] Wenn das Restvakuum in den beiden Einfassungen erreicht worden ist, richtet der Computer die Motor – Drossel – Umleitungen N° 1 der Einheiten **23** und **36** wie bei der vorher beschriebenen Unterdrückhaltung ein. Die beiden Einfassungen werden unter Vakuum gehalten, bis das Bedienungspersonal und der Computer überprüft haben, ob alle Bedingungen für das Gießen erfüllt sind.

[0045] Während der Gießphase auf der **Fig. 8** isoliert der Computer den Behälter von der Vakuumpumpe indem das Ventil **38** geschlossen wird, er öffnet das Freiluftventil des Behälters **39** und führt Stickstoff über die Kompressionsleitung **27** in den Ofen ein. Er öffnet oder schließt Ventile der Einheit **32**, wie es vorher für das Gießen unter Abwesenheit des Vakuums angegeben war, damit die Kompressions – Geschwindigkeiten des Behälters respektiert werden.

[0046] Wenn der Füllvorgang beendet ist, schließen sich die Ventile **14** der Gießform und der Computer lässt den Überdruck wirken (Phase SP der **Fig. 8**). Am Ende des Überdruckes öffnet sich das Freiluftventil **25** der Glocke und die die Gießform enthaltene Glocke **20** wird schnell (2 bis 3 Sekunden) auf Atmosphärendruck gebracht.

[0047] Am Ende des Überdruckes existierte zwischen dem Behälter und der Glocke eine Druckdifferenz  $\Delta P$  auf der **Fig. 8**. Während die Glocke auf Atmosphärendruck gebracht wird, erhöht der Computer

den Druck im Behälter über die Schnell-Blasleitung der **Fig. 1** um zwischen dem Behälter und der Glocke dieselbe Druckdifferenz  $\Delta P$  beizubehalten. Wenn die Glocke unter Atmosphärendruck steht, befindet sich der Behälter auf einem Enddruck  $P_f$ , der wie bei dem vorher beschriebenen Haltezustand beibehalten wird (das Freiluftventil **25** ist geöffnet und die Umleitungen N° 1 der Einheiten **32** und **36** werden durch ihren Motor betrieben).

[0048] Die beiden Schellen des Gießrohres sind mit Dichtungen **41**, **42**, **43** versehen. Ein Leck entlang **41** würde eine Gasbewegung in der Richtung Behälter – Atmosphäre in den Druckphasen zur Folge haben. Auf keinen Fall gibt es eine Gaseinführung in die im Gießrohr enthaltene Flüssigkeit.

[0049] Eine Dichtschwäche in die oberen Dichtungen **42**, **43** in den Vakuumphasen hätte hingegen zur Folge, daß Luft in die im Rohr enthaltene Flüssigkeit eingeführt würde und zwar eine Flüssigkeit, die unter ca. 30 Millibar Rest Vakuum steht.

[0050] Das Volumen der Luftblase würde sofort mit 300 multipliziert und in der Flüssigkeit in der Form einer Wolke feiner Blasen explodieren, die jede Beobachtung stören würde. In dem reelen mit Metall arbeitenden Gerät wird wegen der gleichzeitigen Wirkung von Vakuum und Temperatur (750°C) das Volumen mit 1000 multipliziert und der Raum wäre nicht zu benutzen. Die Dichtungen **42** und **43** müssen also eine perfekte Abdichtung mit einer Seite zum Vakuum hin sicherstellen.

[0051] Dafür ist das Simulationsgerät mit einem die beiden Platten **2** und **11** verbindenden dichten und elastischen Balg **44** ausgerüstet. Der Balg besteht aus Metall, um die Funktionsweise desselben auf das reele Gerät installierten Balgs wiederzugeben.

[0052] Die so zwischen den beiden Platten und dem Gießrohr angeordnete Kammer **45** wird mit der die Gießform enthaltene Glocke über die Öffnung **46** in Verbindung gebracht. Die Kammer **45** und die Glocke **10** sind also während des ganzen Zyklus dem gleichen Druck ausgesetzt.

[0053] Die Dichtungen **42** und **43** sind während der Vakuumerzeugung auf ihren beiden internen und externen Seiten dem gleichen Druck ausgesetzt und sind also nicht belastet. Die Dichtung **41** weist zwischen ihren beiden Seiten einen Druckunterschied von ungefähr 30 Millibar auf, der der ist, der während der Vakuumerzeugung zwischen der Glocke und dem Ofen herrscht. Sie wird also sehr wenig beansprucht und ihre Funktionsweise beeinflusst, wie angegeben, nicht die Flüssigkeit.

[0054] Die Flüssigkeit steigt jedoch in das Gießrohr **10** auf, sobald Gas in den Behälter eingeleitet wird. Die Glocke und also die Kammer **45** werden unter Vakuum gehalten. Die innere Dichtung **41** weist also zwischen ihren beiden Seiten einen zunehmenden Druckunterschied auf und bei einem Fehler der Abdichtung würde Gas, das durch die auf der Glocke arbeitenden Vakuumpumpen abgesaugt werden kann, in die Kammer **45** eingeleitet. Ein Fehler in der Ab-

dichtung hätte also keine Konsequenzen für die Simulationsflüssigkeit bzw. das Metall des reellen Geräts. Diese Abdichtung, die in dem reellen Gerät auf eine hohe Temperatur gebracht wird, sollte bevorzugt aus Graphit bestehen. Auf dem Simulationsgerät wird die gleiche Vorkehrung getroffen, um keinen Unterschied zu erzeugen.

[0055] Die Dichtungen **42** und **43** sind einer niedrigeren Temperatur ausgesetzt, da sie mit der die Gießform tragenden Platte **47** in Kontakt stehen. Eine Kühlkammer mit Luftumlauf **48** in der sie tragenden Schelle garantiert ihnen eine Temperatur, die mit einer zufriedenstellenden Funktionsweise auf dem reellen Gerät kompatibel ist.

[0056] Diese Platte **47** trägt in ihrem kalten Teil eine Dichtung **49** und deshalb stehen die Dichtungen **42** und **43** auf ihrer Innenseite (Flüssigkeitsseite) und ihrer Außenseite (Dichtungsseite **49**) unter demselben Druck und keine Gasblase kann in die Flüssigkeit bzw. das Metall übergehen.

[0057] Die Gesamtheit dieser um den Balg unternommenen Vorkehrungen ist wesentlich für die Qualität der Beobachtungen in dem Simulationsgerät und für die Qualität des gegossenen Teils in dem reellen Gerät.

[0058] Die obigen Vorrichtungen erlauben es, an dem Simulationsgerät die verschiedenen, in der zitierten französischen Patentanmeldung des gleichen Autors Nr. 9305580 (veröffentlicht als EP 04424413) beschriebenen Gießarten zu realisieren, d. h.

Mit der die Aluminiumlegierungen simulierenden Flüssigkeit

- gesteuertes Niederdruck – Gießen mit einer gegenüber dem Atmosphärendruck geschlossenen Gießform, **Fig. 9**
- gesteuertes Niederdruck – Gießen mit einer gegenüber dem Atmosphärendruck offenen Gießform, **Fig. 10**
- gesteuertes Niederdruck – Gießen mit einer unter Vakuum gehaltenen Gießform, **Fig. 8**

Mit der die Magnesiumlegierungen simulierenden Flüssigkeit

- gesteuertes Niederdruck – Gießen mit einer gegenüber dem Atmosphärendruck geschlossenen Gießform, **Fig. 9**
- gesteuertes Niederdruck – Gießen mit einer gegenüber dem Atmosphärendruck offenen Gießform, **Fig. 10**
- gesteuertes Niederdruck – Gießen mit einer unter partiellem Vakuum gehaltenen Gießform, **Fig. 11**

Sensor zur Erfassung des Flüssigkeitsniveaus im Behälter

[0059] Dieser Sensor ist erforderlich, um eine kor-

rekte Steuerung zu erhalten, d. h., damit zu einem gegebenen Zeitpunkt nach dem Anfang der Einleitung,

- die Flüssigkeit eine vorbestimmte Position aufweist,
- eine vorbestimmte vertikale Geschwindigkeit an der Flüssigkeitsfront aufweist.

[0060] Diese beiden Bedingungen Position – Geschwindigkeit werden durch die beiden in dem Verfahren von den Autoren aufgestellten Bewegungsgleichungen der Flüssigkeit ausgedrückt

Position :  $\Delta P = K_{0,1} (H_M - H_C) p_g + \Delta H_C p_g$

Geschwindigkeit:  $dP/dt = Kt^*(dH_M/dt)p_g + (dH_C/dt) p_g$

[0061] Mit

$\Delta P$  = Druckunterschied zwischen dem Behälter und der Gießform zum Zeitpunkt  $t$

$K_{0,t}$  = Mittelwert des Reibungskoeffizienten (Flüssigkeit – Flüssigkeit und Flüssigkeit – Gießform) im Intervall  $0,t$ ; wobei  $0$  der Zeitpunkt ist, an dem die Einleitung beginnt,

$H_M$  = Flüssigkeitsniveau in der Gießform unterhalb eines Referenzniveaus, **Fig. 12**,

$H_C$  = Flüssigkeitsniveau in der Gießform oberhalb desselben Referenzniveaus wie  $H_M$ , **Fig. 12** am Anfang des Zyklus (Zeitpunkt  $0$ )

$p_g$  = spezifische Masse der Flüssigkeit (2,4 g/cm<sub>3</sub> für Aluminium, 1,6 g/cm<sub>3</sub> für Magnesium),

$\Delta H_C$  = Verringerung des Flüssigkeitsniveaus im Behälter seit dem Zeitpunkt  $0$  bis zum Zeitpunkt  $t$ , **Fig. 12**,

$dP/dt$  = « Druckgeschwindigkeit » im Behälter zum Zeitpunkt  $t$ ,

$Kt$  = Reibungskoeffizient zum Zeitpunkt  $t$  (momentaner Koeffizient)

$dH_M/dt$  = vertikale Flüssigkeitgeschwindigkeit in der Gießform an der Front, die zum Zeitpunkt  $t$  fortschreitet,

$dH_C/dt$  = Absinkgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Behälter zum Zeitpunkt  $t$ .

[0062] In diesen beiden Gleichungen stehen die Position der Flüssigkeit  $H_M$  und deren Geschwindigkeit  $dH_M/dt$  mit dem Druck  $\Delta P$  im Behälter und der « Druckgeschwindigkeit  $dP/dt$  (die Aktionsvariablen des Systems) über die beiden Ausdrücke  $\Delta H_C$  und  $dH_C/dt$ , die die Position und die Absinkgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Behälter messen, in Verbindung.

[0063] Es ist also für die Steuerung erforderlich, im Behälter einen Sensor anzuordnen der den Computer jederzeit über die Position der Flüssigkeit im Behälter informiert (der Computer berechnet die Geschwindigkeit). Es ist der Sensor **40 Fig. 1** und Nr. **1 Fig. 12**. Ein Schwimmer bewegt sich mit der Flüssigkeit, er treibt zwei Zahnräder **40<sub>1</sub>** und **40<sub>2</sub>** (**Fig. 1**) an und die Axe **40<sub>2</sub>** ist mit einem im Handel erhältlichen Winkelmessungssensor verbunden, der dem Computer die Winkelposition zum Schwimmer mit einer Genauigkeit von 1/10 Grad mitteilt. Der Computer berechnet also die im Behälter anzuwendenden Werte

von  $\Delta P$  und  $dP/dt$  um  $H_M$  und  $dH_M/dt$  zu erhalten, wobei diese mit der Flüssigkeitsposition in Verbindung stehenden Elemente berücksichtigt werden. Sie können für den Fall großer Gießformen vorherrschend werden und mehr als 50% von  $\Delta P$  ausmachen.

Verbindung Simulationsgerät und reelles Gießgerät

[0064] Die vorhergehende Beschreibung hat die Visualisierungsmethoden für das Fließen angegeben:

- durch Wasserstoffblasen Seite 4 Zeile **28**
- oder durch Blasen gleicher Dichte wie die Flüssigkeiten der Seite 4 Zeile **34**

[0065] Die Gießparameter werden vom Bedienungspersonal im Computer verändert, bis ein zufriedenstellendes Fließen der Flüssigkeit erreicht wird und diese Parameter werden auf das reelle Gießen mit Metall angewandt. Da das reelle Gerät das gleiche Funktionsprinzip wie das Simulationsgerät hat, ist es möglich, sie einander zuzuordnen und über dieselben Organe für dieselben Geräte zu verfügen, d. h.:

- Leitung für das Kompression,
- Druckentlastungsleitung,
- Leitung für die Vakuumerzeugung,
- Druckmessungsleitung wie sie auf der **Fig. 11** dargestellt ist.

Fall für Legierungen mit einer über den Aluminiumlegierungen liegenden Dichte

[0066] Die beiden oben angegebenen, und die Position der Flüssigkeit (Gleichung  $\Delta P$ ) und die « Druckgeschwindigkeit » (Gleichung  $dP/dt$ ) angegebenden Flüssigkeitsbewegungsbedingungen sind über den Faktor  $pg$  der Flüssigkeitsdichte miteinander verbunden. Die im Behälter zu einem Zeitpunkt  $t$  anzuwendenden Druck- und Druckgeschwindigkeitsbedingungen können also berechnet werden, um die Position und die Geschwindigkeit der Flüssigkeit mit der Dichte  $pg$  für diesen Zeitpunkt zu erhalten.

[0067] Der Reibungskoeffizient  $K_{0,t}$  und sein momentaner Wert führen eine Differenz ein. Sie werden ab dem ersten Füllversuch mit Metall gemessen oder können durch vorhergehende Versuche bekannt sein.

[0068] Im übrigen geben die Aufzeichnungen auf Filmen für das simulierte Fließen von Aluminium die Reynoldszahlen für Aluminium in den kritischen Turbulenzbereichen und es wird möglich sein, vorherzusehen, wie in diesen Bereichen die Bewegung einer dichteren Flüssigkeit und mit einer anderen Viskosität sein wird.

Fall für ein Gießen unter Schwerkraftwirkung

[0069] Für diese Anwendungen ist das vorher beschriebene Simulationsgerät gegenstandslos, aber es bleiben die auf der **Fig. 2** dargestellten Anordnun-

gen:

- die Simulationsflüssigkeit wird, wie für das Metall bei dem realen Teilegießen, aus einem Tiegel gegossen,
- die transparente Gießform ist, wie es vorher beschrieben wurde, zusammengesetzt, sie ist jedoch mit einem demontierbaren Gießsystem ausgerüstet, damit es modifiziert werden kann. Bei dem Gießvorgang unter « Gegenkraftwirkung » sind es in der Tat die das Fließen beeinflussenden Gießparameter, die verändert werden können, während diese Parameter bei dem Gießvorgang unter Schwerkraftwirkung durch die Form des Gießsystems festgeschrieben sind.

[0070] Die Visualisierungstechniken sind die gleichen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der optimalen Fließgeschwindigkeit eines Metalls bzw. einer Legierung in jedem Punkt einer Gießform während eines Gießvorgangs unter Gegenkraftwirkung, **dadurch gekennzeichnet**, daß, während die reelle Gießform durch eine transparente Gießform gleicher Form und mit gleichen Abmessungen ersetzt wird, eine Simulationsflüssigkeit bei Umgebungstemperatur unter Niederdruck in die besagte transparente Gießform injiziert wird, wobei die besagte Simulationsflüssigkeit, die im Falle von Aluminium, Magnesium oder deren Legierungen gelöstes Zinkchlorid ist, das bei Umgebungstemperatur gleichzeitig eine Dichte und Viskosität nahe dem zu simulierenden geschmolzenen Metall mit der Temperatur des realen Gießens aufweist, wobei aus der Beobachtung des Füllvorgangs der besagten transparenten Gießform durch die besagte Simulationsflüssigkeit ein Gesetz für die optimale Variation der Füllgeschwindigkeit der Gießform in Abhängigkeit von der Zeit abgeleitet wird und dieses Gesetz mit dem Ziel der Steuerung eines realen Gießzyklus unter Gegenkraftwirkung abgeleitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das besagte Gesetz einer optimalen Veränderung der Fließgeschwindigkeit dadurch erhalten wird, daß ein das Verfahren kontrollierender Computer die angezeigten Fließgeschwindigkeitswerte bis zum Erhalten des optimalen Fliegens verändert.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das besagte Gesetz einer Veränderung der Fließgeschwindigkeit der Simulationsflüssigkeit dadurch gesteuert wird, daß auf den auf die Simulationsflüssigkeit ausgeübten Druck eingewirkt wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewe-

gungen der Simulationsflüssigkeit durch die Bewegungen von kleinen Kugeln deren Dichte nahe bei der der Flüssigkeit liegt oder durch die Bewegung von kleinen Wasserstoffblasen, die an speziellen zu untersuchenden Punkten erzeugt werden, visualisiert wird und daß diese Bewegungen aufgezeichnet werden.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Flüssigkeit in einem dichten Behälter befindet welcher mit der Gießform verbunden ist, daß man die kontinuierliche Bewegung der Flüssigkeit ohne Stöße ajustiert und man die Bewegung stabil auf einem vorbestimmten Niveau aufrechterhält, indem eine ausgewählte variable Anzahl kleiner Ventile mit geringem Durchfluß gesteuert wird, die parallel (**Fig. 7**) und in mehreren Einheiten angeordnet sind, mit einer ersten Kompressionseinheit (**32**) (**32**) und einer zweiten Freiluft – Einheit (**36**) des besagten Behälters.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß außerdem die Ventile einer dritten Einheit (**23**) zur Kompression der besagten Gießform gesteuert werden.

7. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 2 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerung der besagten Einheiten durch den Computer wahrgenommen wird.

8. Vorrichtung zur Bestimmung der optimalen Fließgeschwindigkeit des Metalls in einer Gießform während eines Gießvorgangs unter Gegenkraftwirkung für die Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Vorrichtung ein transparentes Modell gleicher Form und mit gleichen Abmessungen wie die Gießform aufweist, dadurch gekennzeichnet daß die Vorrichtung einen dichten Behälter (**1**) aufweist, der im Falle von Aluminium, Magnesium oder deren Legierungen gelöstes Zinkchlorid enthält, das bei Umgebungstemperatur gleichzeitig eine Dichte und Viskosität nahe dem zu simulierenden geschmolzenen Metall mit der Temperatur des realen Gießens und Mittel zur Kompression des besagten Behälters und ein Rohr (**10**) das die Verbindung zwischen der Simulationsflüssigkeit und der besagten Gießform aufweist, und dadurch daß die Vorrichtung Speichermittel für die zeitabhängige Veränderung des Füllvorgangs des Modells aufweist um den realen Gießzyklus unter Gegenkraftwirkung zu steuern.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die besagte transparente Gießform unter einer Vakuumblocke (**20**) installiert ist und mit dieser kommuniziert.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine erste Einheit parallel ge-

schalteter Ventile mit schwachem Durchfluß aufweist, die zwischen einer Druckquelle und dem besagten Behälter installiert ist und daß die Vorrichtung eine zweite Einheit parallel geschalteter Ventile mit schwachem Durchfluß für die Druckentlastung des besagten Behälters aufweist, wobei die Ventile durch einen Computer gesteuert werden, der für jede Einheit die Anzahl von Ventilen bestimmt, die zu jedem Zeitpunkt in Betrieb gesetzt werden müssen.

11. Vorrichtung nach den Ansprüchen 9 und 10, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine dritte Einheit parallel geschalteter Ventile mit schwachem Durchfluß aufweist, die zwischen einer Vakuumpumpe und der besagten Glocke installiert ist, wobei diese Ventile durch einen Computer gesteuert werden, der für diese dritte Einheit die Anzahl von Ventilen bestimmt, die zu jedem Zeitpunkt in Betrieb gesetzt werden müssen.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 und 11, dadurch gekennzeichnet, daß sie einen Sensor (**40**), der die Höhenunterschiede der Simulationsflüssigkeit im Behälter misst, aufweist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

FIG 1

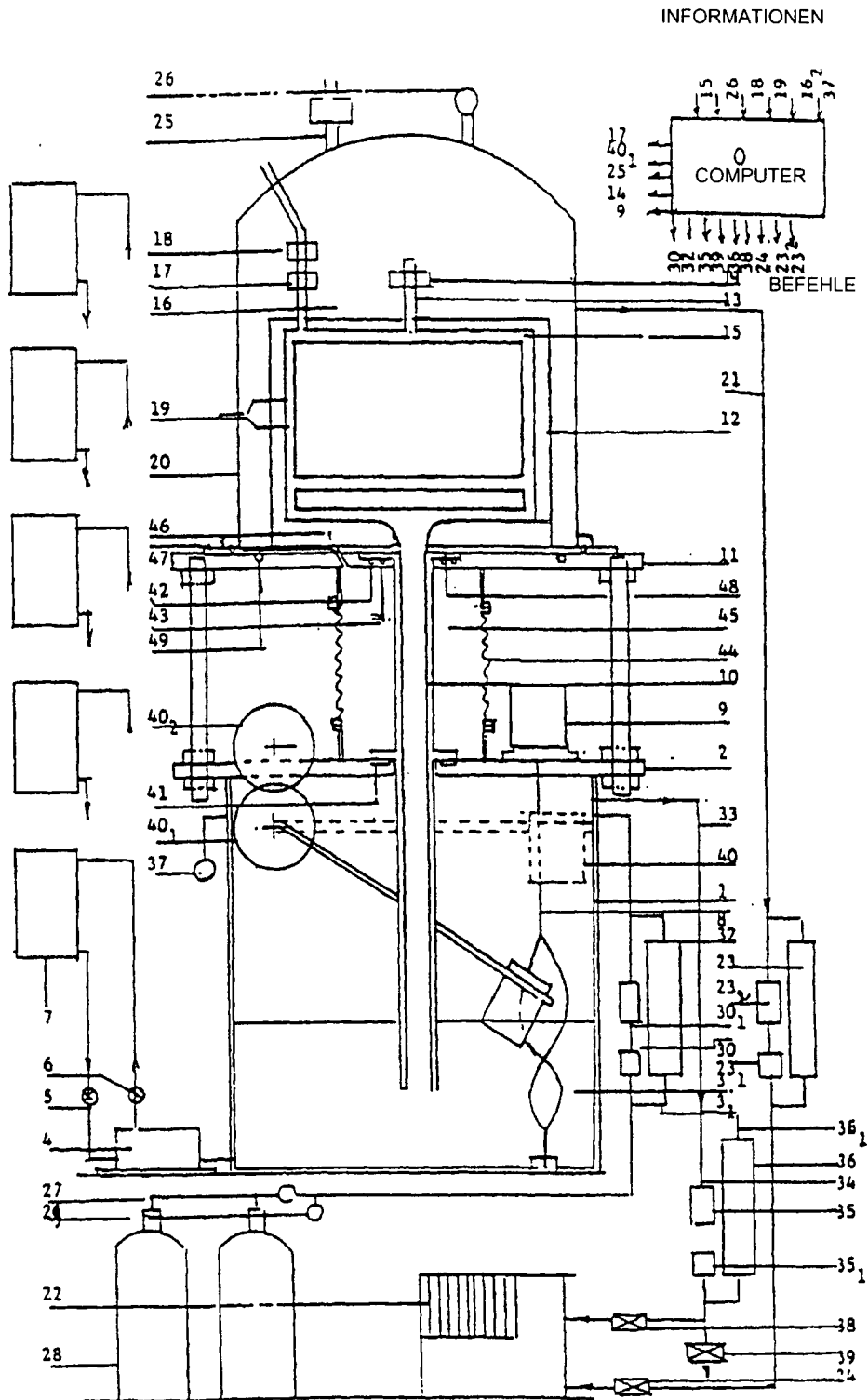


FIG 2

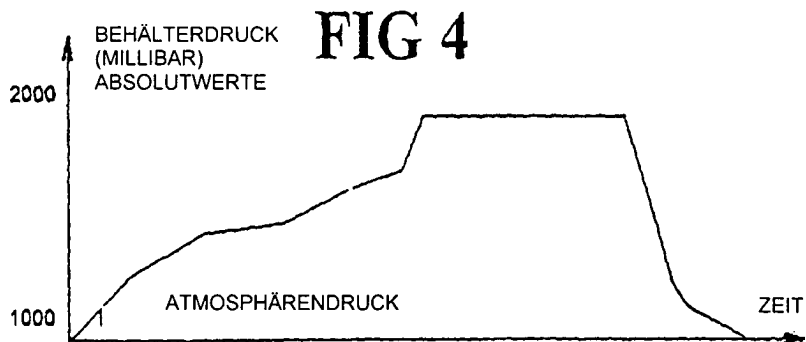
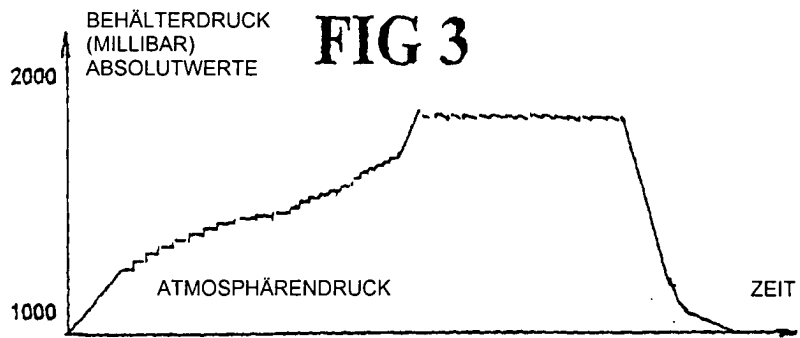
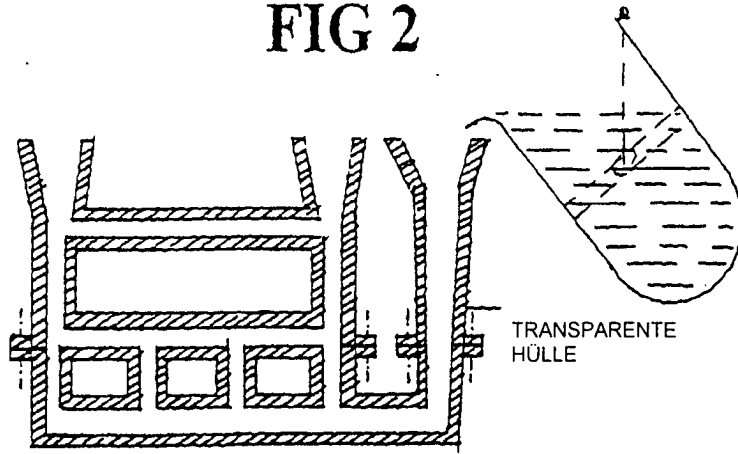
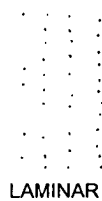


FIG 5



FIG 6



FLIESSEN

FIG 7

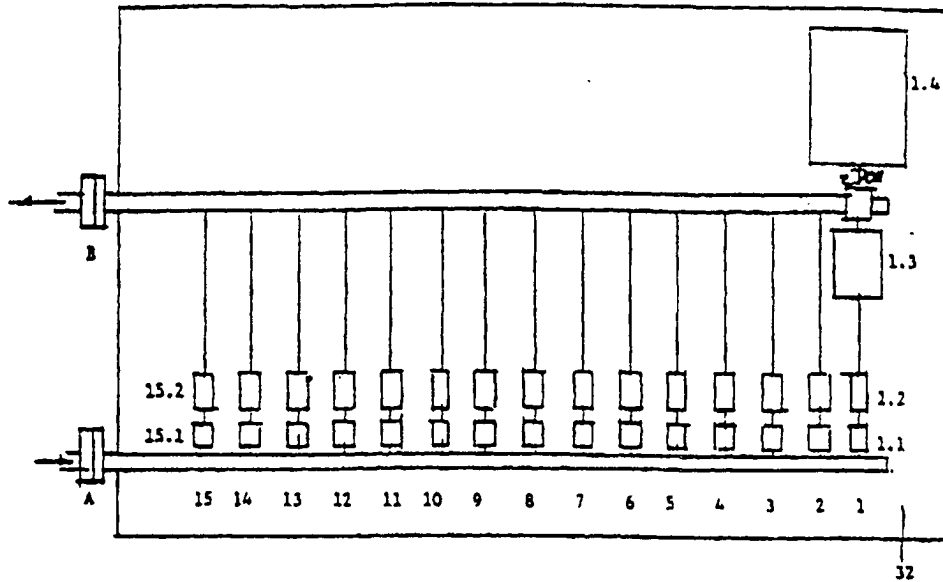
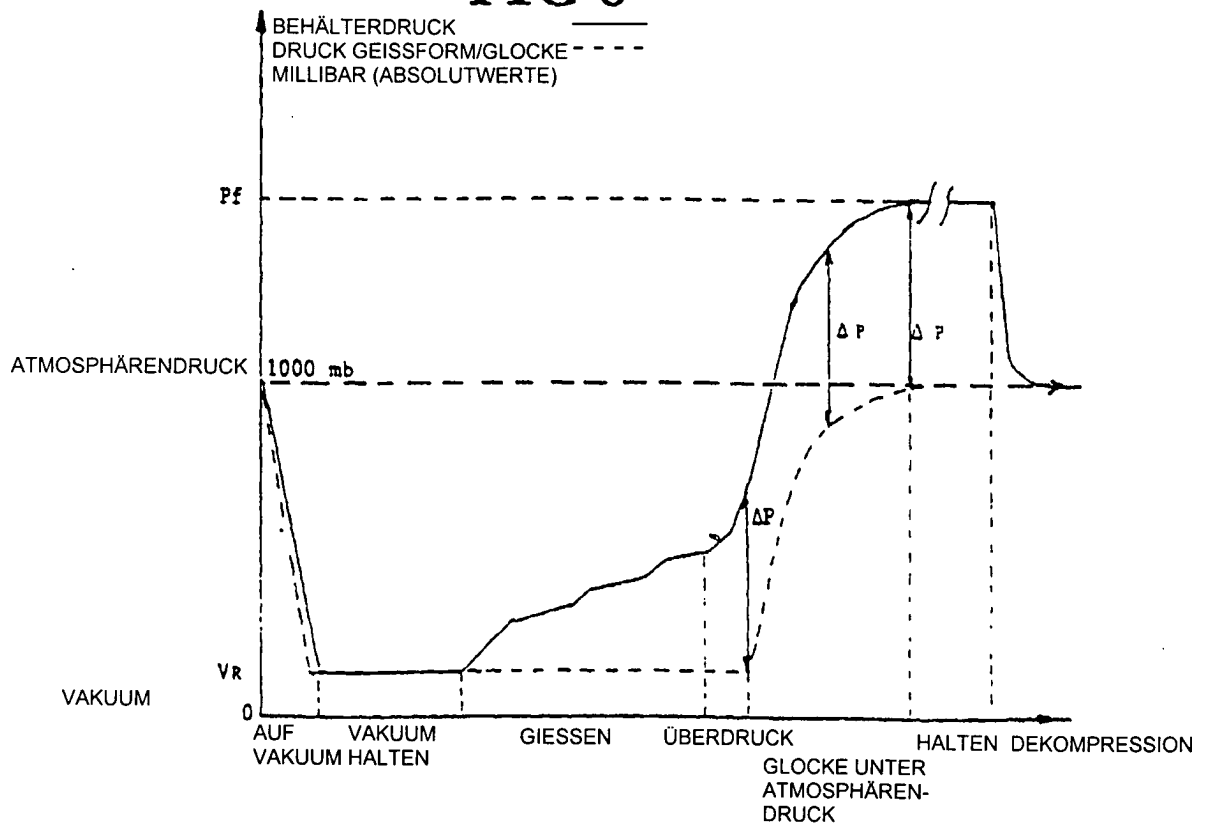


FIG 8



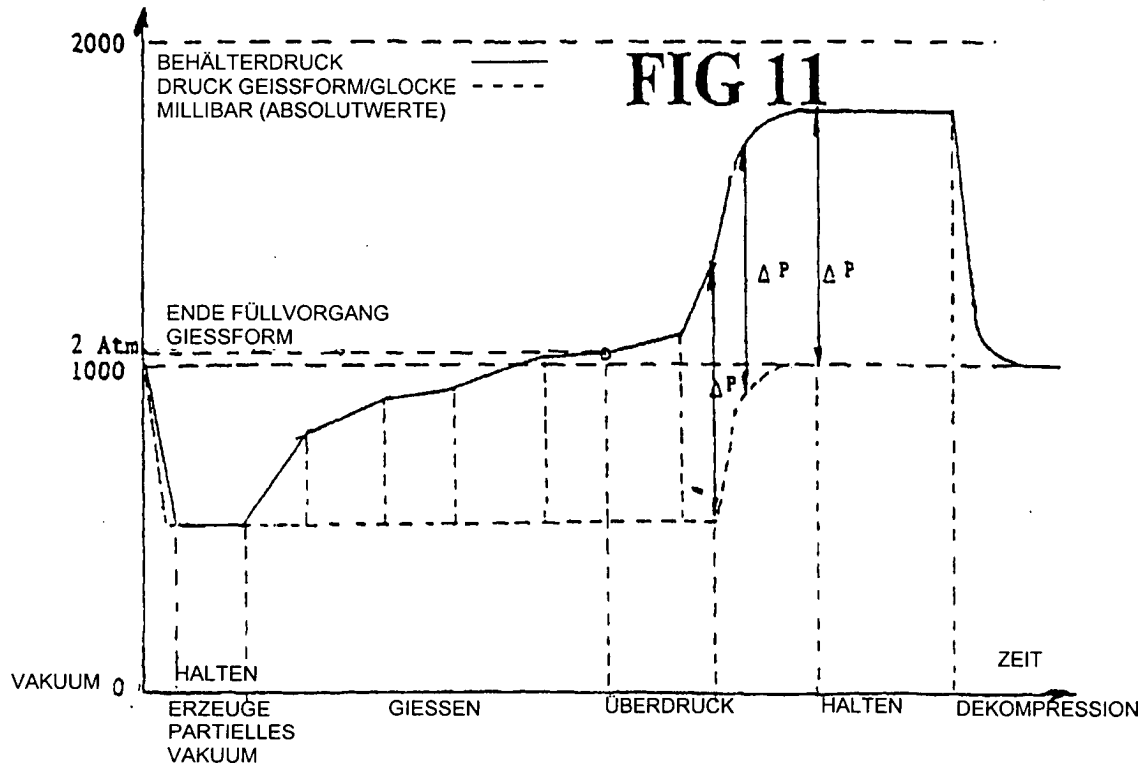
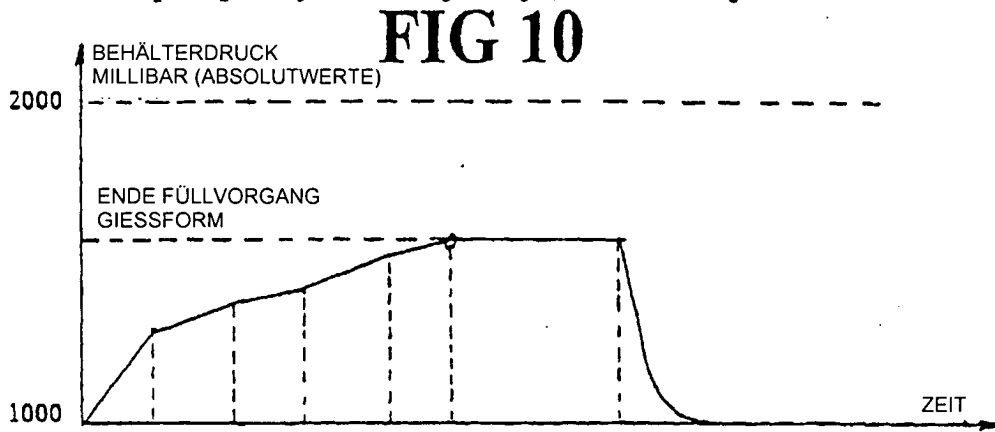
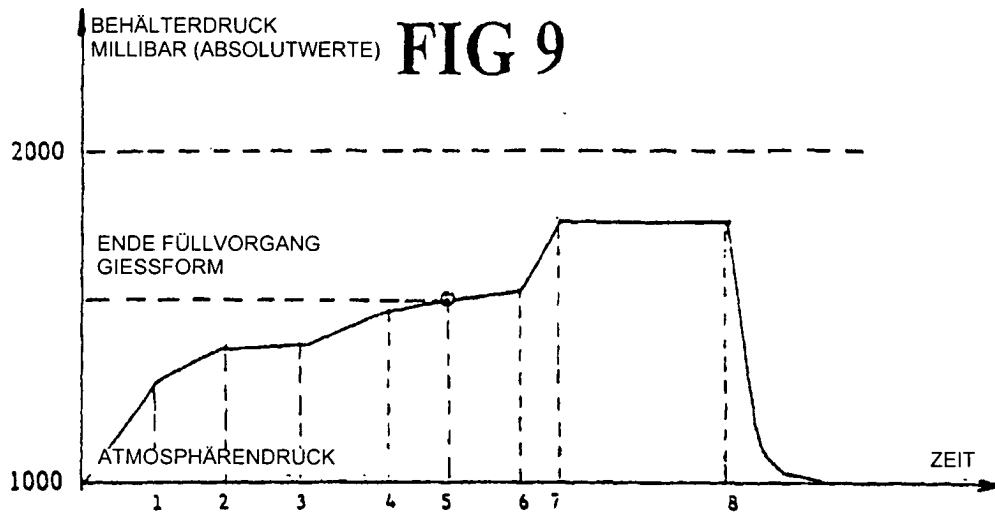


FIG 12

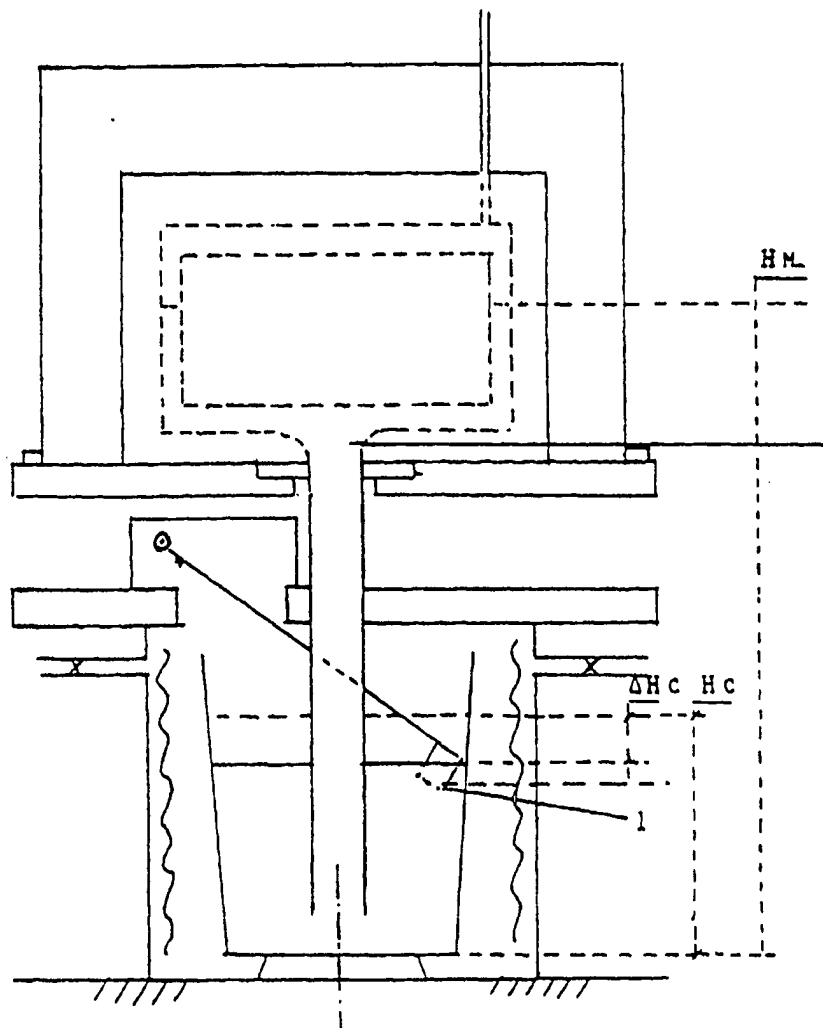


FIG 13

