(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 35 396 T2** 2007.10.31

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 758 292 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 35 396.9**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US95/04595**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 916 980.6**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1995/029802**
(86) PCT-Anmeldetag: **13.04.1995**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **09.11.1995**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **19.02.1997**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **21.02.2007**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **31.10.2007**

(51) Int Cl.[8]: ***B29C 45/34*** (2006.01)
B29C 45/47 (2006.01)
B29C 45/77 (2006.01)
B29C 45/17 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
236471 **02.05.1994** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, ES, FR, GB, IT, PT, SE

(73) Patentinhaber:
Textron IPMP L.P., Troy, Mich., US

(72) Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

(74) Vertreter:
v. Füner Ebbinghaus Finck Hano, 81541 München

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM SPRITZGIESSEN**

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

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Diese Erfindung betrifft das Spritzgießen und insbesondere ein Verfahren und Werkzeug, das Spannungs- und Strömungsberechnungen und Regeleinrichtungen zur Überwachung und Aufrechterhaltung optimaler Schmelzedrücke geschmolzenen Plastiks nutzt, während es von einer Spritzgießmaschine verarbeitet wird.

STAND DER TECHNIK

[0002] Wenn geschmolzenes Plastik von einer Spritzgießmaschine verarbeitet wird, tritt das Plastik in eine Formkavität ein, wo es abgekühlt wird, um eine gewünschte Teilform zu bilden. Während die Kühlung stattfindet, zieht sich das Plastik in der Kavität zusammen. Infolge dieser Zusammenziehung schrumpft das Teil tatsächlich hinsichtlich der Größe, und auf der Oberfläche des Teils bilden sich Mulden oder vertiefte Stellen. Einsenkungen und Mulden haben für Spritzgießverarbeiter größere Probleme verursacht, seit das Spritzgießen erstmalig entwickelt wurde. Mehrere Verfahren sind in dem Bestreben des Eliminierens dieser Probleme entwickelt worden. Einige Beispiele sind das gasunterstützte Spritzgießen, das Thermoplast-Schaumguss-Verfahren, das flüssiggasunterstützte Spritzgießen etc. Darüber hinaus wurden bei dem Formverfahren Treibmittel zum Mischen mit dem geschmolzenen Plastik verwendet, um in dem Plastik inerte Gase zu erzeugen. Diese Gase sorgen in dem Plastik für internen Druck, der es der Plastik ermöglicht, die Kavität der Form vollständiger zu füllen, und das Plastik gegen die Kavitätenwände drückt. Dies trägt wiederum dazu bei, Einsinkungen auf der Oberfläche der Plastikteile zu reduzieren. Auch wurde Gasgegendruck in der Formkavität zur Verbesserung der Oberflächenglätte der Formteile verwendet.

[0003] US-A-4675141 beschreibt ein Verfahren des Kontrollierens von Druckgas, vor und nach dem Einspritzen eines geschmolzenen Materials, in einer Formkavität. Die Patentschrift lehrt die Versorgung der Formkavität mit einer hohen Temperatur, hohem Gasdruck, um die Viskositätsdifferenz des geschmolzenen Materials zwischen dem Einspritzstartpunkt und dem Einspritzvollendungspunkt zu minimieren.

[0004] US-A-3988403 beschreibt ein weiteres Verfahren der Verwendung von Druckgas in der Formkavität.

[0005] Diese vorbekannten Verfahren sind alle auf Grund der großen Zahl von Variablen im Formverfahren problematisch. Variierende Einspritzdrücke und Einspritzgeschwindigkeiten, variierende Schmelzedrücke und -temperaturen, variierende Kavitätsbedingungen und unkontrolliertes Austreten von Gasen tragen alle zu einem instabilen Formumfeld bei. Diese verschiedenen Probleme im Formverfahren verursachen die Verbrennung und Spaltung von Polymerketten und erzeugen interne Spannungen innerhalb des Plastiks, die in dem Plastik bleiben, während das Plastikmaterial in der Kavität abkühlt. Diese internen Spannungen verursachen Schrumpfungen, Einsinkungen und konkave oder konvexe Verformungen des zu formenden Plastikteils. Darüber hinaus führen diese verschiedenen Spritzgießprobleme zu einer Zersetzung des Plastikmaterials, während es durch eine Spritzgießmaschine verarbeitet wird. Im Allgemeinen erzeugen erratische Variationen hinsichtlich des Drucks, der Temperatur und der Einspritzgeschwindigkeit eine Materialaufspaltung und verursachen interne Probleme im Plastik, die im geformten Endprodukt erkennbar sind.

[0006] Ein weiterer Nachteil von vorbekannten Systemen ist, dass die Plastikschmelzeströmung in diesen Systemen auf Grund von Änderungen in der Kavitätsgeometrie, während sich das geschmolzene Plastik in die Kavität der Form bewegt, Druckänderungen ausgesetzt ist. Auf Grund dieser Druckänderungen werden bestimmte Bereiche der Kavität schneller als andere Bereiche gefüllt, was dadurch verschiedene Kühlcharakteristika in verschiedenen Bereichen der Kavität zur Folge hat. Diese Kühlvariationen verursachen eine Inkonsistenz in der Richtung der Plastikerhärtung, was Oberflächenspannungen, Bindenähte oder Einsinkungen zur Folge hat.

[0007] Es ist wünschenswert, ein ausgewogeneres Spritzgießverfahren zu entwickeln, bei dem der Druck des geschmolzenen Plastiks straffer und gleichmäßiger kontrolliert wird, während sich das Plastik durch die Spritzgießmaschine bewegt. Es ist weiterhin wünschenswert, ein Spritzgießverfahren zu entwickeln, bei dem auf das Plastik wirkende Drücke ausgeglichen sind, um die Probleme, auf die oben hingewiesen wurde und die von Variationen in den Polymerkettenbedingungen verursacht werden, zu eliminieren, um interne Spannungen im Plastik zu reduzieren. Das endgültige Ziel eines derartigen Spritzgießverfahrens wäre die Produktion eines Endprodukts, das der Kavitätsoberfläche der Form nahezu perfekt entspricht und von internen Spannungen, die zu Schrumpfungen, Einsinkungen und konkaven oder konvexen Verformungen daran führen, vollkommen

befreit ist und über in hohem Maße verbesserte mechanische Eigenschaften verfügt. Darüber hinaus kann das Teilgewicht reduziert werden, was für die Hersteller bedeutende Materialeinsparungen bedeuten wird.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0008] Nach der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren der Einspritzung geschmolzenen Plastiks in eine in einer Form gebildeten Formkavität vorgesehen, wobei das geschmolzene Plastik infolge der Schrumpfung unter Spannung gesetzt wird, während das geschmolzene Plastik in der Formkavität eingeschränkt wird, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:
Versorgen der Formkavität mit Druckgas, bevor das geschmolzene Plastik in die Formkavität gespritzt wird;
Unter-Druck-Setzen des geschmolzenen Materials vor dem Einspritzen;
Einspritzen des geschmolzenen Materials gegen das Druckgas in die Formkavität, um einen resultierenden internen Gegendruck in dem geschmolzenen Plastik herzustellen;
Aufrechterhalten des Gegendrucks entsprechend der Schrumpfungsspannung im geschmolzenen Plastik, während das geschmolzene Material in die Kavität gespritzt wird; und
Aufrechterhalten einer Druckdifferenz zwischen dem Gasdruck und dem Schmelzedruck des geschmolzenen Plastiks für einen beträchtlichen Teil der Einspritzung.

[0009] Auch erfindungsgemäß vorgesehen ist ein Werkzeug zum Einspritzen geschmolzenen Plastiks in eine Formkavität mit einem Schmelzbehälter, der über Mittel verfügt, geschmolzenes Plastik unter Druck zu setzen, wobei das Werkzeug Folgendes umfasst:
eine Quelle von Druckgas in selektiver Verbindung mit der Formkavität, um die Formkavität mit Druckgas zu versorgen;
erstes Mittel, um den Gasdruck in der Kavität zu bestimmen;
zweites Mittel, um den Schmelzedruck des geschmolzenen Plastiks im Schmelzbehälter zu bestimmen; und gekennzeichnet durch:
eine Regeleinrichtung, die mit dem ersten Mittel und zweiten Mittel verbunden ist, um den bestimmten Druck des Gases in der Kavität und die bestimmten Schmelzedrücke im Schmelzbehälter zu überwachen und um die bestimmten Drücke mathematisch zu verarbeiten, um ein Signal zu erlangen, damit das Unter-Druck-Setzen des geschmolzenen Plastiks, das in die Formkavität gespritzt wird, kontrolliert und eine Druckdifferenz zwischen dem Gasdruck und dem Schmelzedruck des geschmolzenen Plastiks für einen beträchtlichen Teil der Einspritzung aufrechterhalten werden kann.

[0010] Ein Spritzgießwerkzeug zur Verwendung in der Spritzgießvorrichtung der Erfindung ist ebenfalls beschrieben.

[0011] Dieser Erfindung liegt die Feststellung zugrunde, dass es beim Einspritzen geschmolzenen Plastiks in eine Formkavität wünschenswert ist, das System vorher mit Druck zu belasten, wodurch für Bedingungen gesorgt wird, unter denen Druckänderungen messbar werden, und kontrollierbare Druckdifferenzen zwischen dem Druck von Gas in der Formkavität und dem Druck des geschmolzenen Plastiks geschaffen werden können. Durch die Bereitstellung einer Echtzeit-Regeleinrichtung mittels eines geschlossenen Regelungssystems können der Gasdruck und der statische Schmelzedruck des geschmolzenen Materials ermittelt und von der Einrichtung mathematisch überwacht werden, um hinsichtlich der Einspritzung und Erhärtung des Plastiks in die Formkavität optimale Druckbedingungen zu schaffen. Diese Druckkontrolle mittels eines geschlossenen Regelungssystems auf der Grundlage von Druckdifferenzen, die vom vorprogrammierten Übergang einer vorher belasteten Schmelze in eine Formkavität erzeugt werden, schafft die Möglichkeit der Kontrolle des statischen Drucks der Schmelze während des Einspritz- und Erhärtungszyklus und der Schaffung optimaler Druckbedingungen für die Schmelze hinsichtlich der Einspritzung und Erhärtung, während sich die Schmelze aus dem Schmelzbehälter bewegt und in der Formkavität erhärtet.

[0012] Ebenfalls beschrieben ist ein Spritzgießverfahren zur Verwendung mit einer Spritzgießmaschine, das Folgendes umfasst: (a) Erzeugen von internem Gegendruck innerhalb geschmolzenen Plastiks, während Plastikgranulat in der Spritzgießmaschine plastifiziert wird; und (b) Unter-Druck-Setzen von Luft innerhalb einer Kavität einer Form in der Spritzgießmaschine bis zu einem Luftdruckstand, die im Wesentlichen gleich dem internen Gegendruck ist, um den internen Gegendruck auszugleichen, während das geschmolzene Plastik in die Kavität gespritzt wird, wodurch ein im Wesentlichen hinsichtlich des Drucks ausgewogenes Formumfeld für das Plastik geschaffen wird.

[0013] Weiterhin beschrieben ist ein Verfahren zur Reduzierung interner Spannungen in Plastikteilen, die in einer Formkavität von geschmolzenem Plastik gebildet werden, das von einer Spritzgießvorrichtung in die

Formkavität gespritzt wird. Das Verfahren umfasst Folgendes: (a) Unter-Druck-Setzen der Kavität bis zu einem vorher festgelegten Luftdruck; (b) Bedienen der Spritzgießvorrichtung zur Entwicklung geschmolzenen Plastiks bei einem ersten Schmelzedruck, der gleich dem vorher festgelegten Luftdruck ist; (c) Übertragen des geschmolzenen Plastiks an die Formkavität, wenn der vorher festgelegte Luftdruck und der erste Schmelzedruck gleich werden; und (d) anschließendes Erhöhen des Schmelzedrucks auf einen zweiten Schmelzedruck und Aufrechterhalten einer im Wesentlichen konstanten Differenz zwischen dem Luftdruck in der Formkavität und dem zweiten Schmelzedruck während eines beträchtlichen Teils einer vorher bestimmten Zeitspanne, in der das geschmolzene Plastik in die Formkavität gespritzt wird, wodurch auf das geschmolzene Plastik wirkende Druckbedingungen so optimiert werden, dass interne Spannungen in den gebildeten Plastikteilen reduziert werden.

[0014] Ebenfalls beschrieben ist ein Spritzgießverfahren zur Verwendung mit einer Spritzgießmaschine mit einer Form mit einer Kavität, die darin zur Aufnahme geschmolzenen Plastiks gebildet wird, und einer hydraulischen Einheit zur Erzeugung eines Einspritzdrucks, um die Formkavität bei einem vorher festgelegten Schmelzedruck mit geschmolzenem Plastik zu füllen. Das Verfahren umfasst Folgendes: (a) Versorgen der Kavität mit Luft bei einem vorher festgelegten Luftdruck; (b) Ermitteln des Schmelzedrucks während der Einspritzung; (c) Ermitteln des Luftdrucks in der Kavität während der Einspritzung; und (d) Bereitstellen einer Regeleinrichtung zur Überwachung des ermittelten Schmelzedrucks und des ermittelten Luftdrucks und zur Erzeugung von Signalen an die hydraulische Einheit, um den Schmelzedruck auf den gewünschten Stufen zu halten.

[0015] Ebenfalls beschrieben ist ein Spritzgießverfahren zur Verwendung mit einer Spritzgießmaschine mit einer Form darin. Das Verfahren umfasst Folgendes: (a) Festsetzen einer maximalen Spannung, unter die das Plastik zu setzen ist, während das Plastik in der Form verarbeitet wird; (b) Erzeugen von Gegendruck innerhalb des Plastiks, der im Wesentlichen gleich der festgesetzten maximalen Spannung ist, vor der Einspritzung des Plastiks in die Form; und (c) Aufrechterhalten des Gegendrucks im Plastik, der mindestens gleich der festgesetzten maximalen Spannung ist, während das Plastik in die Form gespritzt wird.

[0016] Des Weiteren beschrieben ist ein Verfahren zur Reduzierung interner Spannungen in Plastikteilen, die in einer Formkavität von geschmolzenem Plastik gebildet werden, das in die Formkavität gespritzt wird. Das Verfahren umfasst Folgendes: (a) Unter-Druck-Setzen der Kavität bei einem vorher festgelegten Luftdruck; (b) Unter-Druck-Setzen der Schmelze bei einem ersten Druck, der gleich dem vorher festgelegten Luftdruck ist; (c) Übertragen des geschmolzenen Plastiks an die Kavität, wenn die Drücke gleich werden; und (d) anschließendes Erhöhen des Schmelzedrucks auf einen zweiten Druck für die Einspritzung.

[0017] Ebenfalls beschrieben zur Verwendung mit einer Spritzgießmaschine ist ein Spritzgießverfahren, das Folgendes umfasst: (a) Berechnung einer maximalen Spannung, unter die ein in einer Spritzgießmaschine zu formender Plastikschuss gesetzt wird, wobei die Spannung das Ergebnis einer volumetrischen Schrumpfung ist, die eintritt, während das Plastik in einer Kavität einer Form in der Maschine abgekühlt wird; (b) Unter-Druck-Setzen eines Plastikschusses auf einen ersten Schmelzedruck, während das Plastik in einem Zylinder der Spritzgießmaschine plastifiziert wird, wobei der erste Schmelzedruck im Wesentlichen gleich der berechneten maximalen Spannung ist; (c) Unter-Druck-Setzen der Luft in der Kavität bei einem Luftdruck, der im Wesentlichen gleich dem ersten Schmelzedruck ist; (d) Beginnen der Einspritzung des Plastikschusses in die Kavität in einer laminaren Strömungsart, wobei geschmolzenes Plastik in Beziehung auf einen Punkt, an dem Plastik in die Kavität eintritt, konzentrisch in die Kavität strömt; (e) Erhöhen des Schmelzedrucks auf dem Plastikschuss auf einen zweiten Schmelzedruck, während der Luftdruck in der Kavität im Wesentlichen konstant gehalten wird und eine im Wesentlichen konstante Differenz zwischen dem Luftdruck in der Kavität und dem zweiten Schmelzedruck während eines beträchtlichen Teils einer Zeitspanne, in der der Plastikschuss in die Kavität gespritzt wird, aufrechterhalten wird; (f) Ermitteln des ersten und zweiten Schmelzedrucks und Erzeugung von darauf hinweisenden Feedback-Signalen; (g) Empfangen der Feedback-Signale, Vergleichen der Feedback-Signale mit Bezugswerten und Erzeugen von Signalen zur Kontrolle des ersten und zweiten Schmelzedrucks; und (h) Rückkehr zu Schritt (b).

[0018] Weiter beschrieben ist eine Form zur Verwendung in einer Spritzgießmaschine, die eine vordere Hälfte und eine hintere Hälfte der Form umfasst. Die vordere Hälfte umfasst eine Öffnung, die hierdurch zur Aufnahme geschmolzenen Plastiks von der Spritzgießmaschine gebildet wird. Die vordere Hälfte und die hintere Hälfte wirken zur Bildung einer Kavität dazwischen zusammen, und die Kavität ist in fluidischer Verbindung mit der Öffnung, um geschmolzenes Plastik davon aufzunehmen. Eine Vielzahl von Entlüftungen wird in der hinteren Hälfte oder vorderen Hälfte gebildet, wobei die Entlüftungen erste und zweite Enden haben. Das erste Ende jeder der in Vielzahl vorhandenen Entlüftungen ist in fluidischer Verbindung mit der Kavität. Die Entlüftungen sind gemäß der folgenden Formel aufgebaut, um einen im Wesentlichen konstanten Luftdruck in der Kavität

zu halten, während die Kavität mit Plastik gefüllt wird: A = 0,24241·W·√T1/(C·P1), wobei A eine Querschnittsfläche einer Entlüftung ist, W das Ausströmen von Druckluft durch die Entlüftung in Pfund pro Sekunde ist (wobei 1 Pfund pro Sekunde 0,45 Kilogramm pro Sekunde entspricht), C ein Strömungskoeffizient ist, P1 der Luftdruck in der Kavität in Pfund pro Quadratzoll ist (wobei 1 Pfund pro Quadratzoll 703,07 Kilogramm pro Quadratmeter entspricht) und T1 eine Temperatur in der Kavität in Grad Fahrenheit ist (wobei Grad Fahrenheit in Grad Celsius durch die Subtraktion von 32 und die Multiplikation mit 5/9 umgerechnet wird). Ein Kanal wird in der vorderen Hälfte oder hinteren Hälfte gebildet, wobei der Kanal mit dem zweiten Ende jeder der in Vielzahl vorhandenen Entlüftungen in fluidischer Verbindung ist, um Druckluft in die und aus der Kavität durch die Entlüftungen zu übertragen. Ein Paar Ventile sind in selektiver fluidischer Verbindung mit dem Kanal vorhanden. Eines der Ventile des Paars ist so angepasst, dass es selektiv Druckgas von einer pneumatischen Leitung aufnimmt, um den Kanal mit Druckluft zu versorgen, und das andere der Ventile des Paars ist so angepasst, dass es selektiv das Ausströmen von Druckluft aus dem Kanal zulässt. Eine Dichtung begrenzt die Kavität und ist zwischen der vorderen Hälfte und der hinteren Hälfte positioniert, um ein Ausströmen von Druckluft aus der Kavität zwischen der vorderen Hälfte und der hinteren Hälfte der Form zu verhindern, während die Kavität mit geschmolzenem Plastik gefüllt wird.

[0019] Ebenfalls beschrieben ist ein Spritzgießverfahren, bei dem ein hinsichtlich des Drucks ausgewogenes Formumfeld zum Kühlen des geschmolzenen Plastiks geschaffen wird, kann vorgesehen sein.

[0020] Ebenfalls beschrieben ist ein Spritzgießverfahren, bei dem die Zersetzung von Plastikmaterial infolge verbesserter Verarbeitungskontrollen verringert ist, kann auch vorgesehen sein.

[0021] Ebenfalls beschrieben ist ein Spritzgießverfahren, bei dem weniger Turbulenz erzeugt wird, während das geschmolzene Plastik in die Kavität einer Form gespritzt wird, kann vorgesehen sein.

[0022] Ebenfalls beschrieben ist ein Spritzgießverfahren, bei dem Oberflächenspannungen am Endprodukt in hohem Maße verringert sind, kann weiterhin vorgesehen sein.

[0023] Ebenfalls beschrieben ist ein Spritzgießverfahren, bei dem Schrumpfungen, Einsinkungen und konkave oder konvexe Verformungen des Formteils reduziert sind, kann auch vorgesehen sein.

[0024] Ebenfalls beschrieben ist ein Spritzgießverfahren, bei dem geschmolzenes Plastik auf konsistente, gerichtete Weise abkühlt und erhärtet, kann vorgesehen sein.

[0025] Ebenfalls beschrieben ist ein Spritzgießverfahren, bei dem die Verarbeitungszykluszeit reduziert ist und das Teilgewicht reduziert ist, kann weiterhin vorgesehen sein.

[0026] Ebenfalls beschrieben ist eine Form, die zur Aufrechterhaltung eines gewünschten Luftdrucks in einer Kavität in der Lage ist, kann auch vorgesehen sein.

[0027] Diese und andere Merkmale, Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden beim Lesen der folgenden Beschreibung hierfür zusammen mit Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen deutlich.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0028] Abb. 1 ist eine schematische Darstellung einer Spritzeinheit für eine Spritzgießmaschine, die über ein Form- und Druckregelungssystem verfügt, das gemäß der vorliegenden Erfindung damit verbunden ist;

[0029] Abb. 2 ist eine Draufsicht einer hinteren Hälfte einer Form gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0030] Abb. 3 ist eine vertikale durch Abb. 2 erstellte Schnittzeichnung einer Spritzgussform gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0031] Abb. 4 ist eine graphische Darstellung eines Schmelzedruck- und Luftdruckzyklus in einer Spritzgießmaschine gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0032] Abb. 5 ist eine graphische Darstellung eines Druckdifferenzprofils zwischen einem Schmelzedruck und einem Luftdruck in einer Spritzgießmaschine gemäß der vorliegenden Erfindung;

BESTE AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

[0033] Unter Bezugnahme auf Abb. 1 wird eine Spritzgießmaschine **10** einschließlich einer Spritzeinheit **12** zur Verwendung mit dem vorliegenden Verfahren gezeigt. Kunststoffharz bewegt sich vom Trichterfüllgerät **14** in den Zylinder **16** der Spritzgießmaschine. Hitze vom Zylinder **16** und rotierende Bewegungen der Schraube **18** führen dazu, dass das Kunststoffharz schmilzt und ein von der Maschine zu formender Plastikschuss gebildet wird. Der Plastikschuss wird von der Maschine unter Druck gesetzt. Der Schmelzedruck des Plastikschusses wird gemessen und durch einen Schmelzedruckaufnehmer **20** reguliert. Ein positives Sperrventil ist oben im Zylinder **16** vorgesehen, um Austreten von Plastik durch die Öffnung zu verhindern und das Unter-Druck-Setzen von geschmolzenem Plastik im Zylinder **16** zu ermöglichen.

[0034] Eine Form **22** wird in die Spritzgießmaschine **10** eingeführt. Die Form **22** umfasst eine vordere Hälfte **24** und eine hintere Hälfte **26**. Die vordere Hälfte **24** hat eine Öffnung **28**, die hierdurch zur Aufnahme des Schusses geschmolzenen Plastiks von der Spritzgießmaschine gebildet wird. Die vordere Hälfte **24** und die hintere Hälfte **26** der Form **22** wirken zusammen, um eine Kavität **30** dazwischen zu bilden. Die Kavität **30** ist in fluidischer Verbindung mit der Öffnung **28** zur Aufnahme des Schusses geschmolzenen Plastiks hierdurch. Der Schuss geschmolzenen Plastiks wird in die Kavität **30** gedrückt und darin gehalten, um ein Plastikteil zu kühlen und zu bilden, das mit der Form der Kavität übereinstimmt.

[0035] Aufnehmer sind zum Ermitteln von Drücken während des Formverfahrens vorgesehen. Der Einspritzdruck für die Spritzeinheit **12** wird vom Einspritzdruckaufnehmer **32** überwacht. Die Kavität **30** der Form **22** wird durch die pneumatische Leitung **34** mit Luftdruck versorgt. Der Luftdruck in der Kavität **30** wird vom Luftdruckaufnehmer **36** überwacht. Der Luftdruckaufnehmer befindet sich in einer Entlüftung, so dass der Kavität ein tatsächlicher Druckmesswert entnommen werden kann. Die Entlüftung mit dem Druckaufnehmer wird nicht mehr zum Kanal **44** übertragen. Eine Gummidichtung **38** ist zwischen der vorderen Hälfte und der hinteren Hälfte **26** der Form **22** vorgesehen, um das Entweichen von Druckluft aus der Kavität **30** der Form zu verhindern. Wenn geschmolzenes Plastik unter hohem Druck in eine Form gespritzt wird, gehen die vordere Hälfte **24** und die hintere Hälfte **26** einer Form oft ein wenig auseinander, wodurch ein Ausweichen von Druckluft daraus möglich ist. Die Gummidichtung **38** ist so konstruiert, dass dieses Entweichen von Druckluft aus der Kavität verhindert wird.

[0036] Eine Regeleinrichtung **40** ist mit der Spritzgießmaschine **10** vorgesehen. Die Regeleinrichtung **40** empfängt Drucksignale von den Druckaufnehmern **20**, **32**, **36**, vergleicht diese Drucksignale mit vorher festgesetzten Bezugswerten und sendet Signale an die Spritzgießmaschine, um die Drücke entsprechend zu regulieren.

[0037] Unter Bezugnahme auf Abb. 2 wird eine Vielzahl von Entlüftungen **42** in fluidischer Verbindung mit der Kavität **30** gezeigt. Der Zweck dieser Entlüftungen ist, das Austreten von Druckluft und -gasen zu ermöglichen, während geschmolzenes Plastik in die Kavität **30** gespritzt wird. Ein Kanal **44** ist um die Kavität **30** in fluidischer Verbindung mit den Entlüftungen **42** vorgesehen. Die Druckluft und -gase bewegen sich durch die Entlüftungen in den Kanal. Ein erstes Ventil **46** ist in selektiver fluidischer Verbindung mit dem Kanal **44** vorgesehen, um den Kanal **44** mit Druckluft von der pneumatischen Leitung **44** zu versorgen. Ähnlich ist ein zweites Ventil **48** in selektiver fluidischer Verbindung mit dem Kanal **44** vorgesehen, um daraus Druckluft entweichen zu lassen. Der Zweck dieses mit einer Dichtung und Ventilen versehenen Entlüftungssystems ist, Entlüftungsöffnungssteuermöglichkeiten unmittelbar vor der Schmelzeströmung anstatt außerhalb der Form bereitzustellen. Auf diese Weise kann Kavitätsluftdruck erzeugt werden, um dem Schmelzedruck Widerstand entgegenzusetzen, während geschmolzenes Plastik in die Kavität gespritzt wird.

[0038] Einem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung zur Verwendung mit der oben beschriebenen Vorrichtung liegt die Tatsache zugrunde, dass jede in die Kavität gespritzte volumetrische Einheit geschmolzenen Plastiks auf Grund der Anpassung der Oberflächenspannungskräfte bei der Abkühlung schrumpft und im festen Teil beträchtliche Spannungen aufgebaut werden. Diese Bedingungen können durch die Bildung von Gaseinschlüssen im geschmolzenen Plastik abgeschwächt werden. Diese Gaseinschlüsse wirken als Schmiermittel, indem sie im Wesentlichen die Fluidität der Schmelze ändern und das Ausmaß des Einspritzdrucks vermindern, der für die Einspritzung des geschmolzenen Plastiks in die Kavität erforderlich ist. Die Gaseinschlüsse bewirken, dass das geschmolzene Plastik viel biegsamer und einfacher zu handhaben ist. Auch kann die vorhergesagte volumetrische Differenz zwischen dem Volumen der Formkavität und dem Volumen eines von der Kavität geformten festen Teils als Grundlage dafür verwendet werden, das geschmolzene Plastik im Zylinder bei ausreichendem Druck vorzumischen, um der volumetrischen Schrumpfung Widerstand entgegenzusetzen und die internen Spannungen zu eliminieren.

[0039] Durch die Erzeugung einer bestimmten gewünschten Menge von Gaseinschlüssen und Feuchtigkeit in dem geschmolzenen Plastik kann ein Niveau von partiellem Druck der Gaseinschlüsse und Feuchtigkeit hergestellt werden, bei dem die Bewegung des Druckgases und der Feuchtigkeit abgebrochen wird. Auch kann die Zerlegung der Gase abgebrochen werden, und für die Gase kann bewirkt werden, dass sie mittels ausgewogener Oberflächenspannungskräfte eine statische Position beibehalten. Darüber hinaus werden negative Drücke in dem erhärtenden Plastik eliminiert.

[0040] Das in Abb. 2 gezeigte Entlüftungssystem schafft die Möglichkeit, in der Kavität einen konstanten Gasdruckwiderstand aufrechtzuerhalten, der eine ungleichmäßige Strömungsverteilung des geschmolzenen Plastiks in der Kavität eliminiert. Das geschmolzene Plastik wird im Wesentlichen konzentrisch im Kavitätenraum in Bezug auf die Öffnung **28** verteilt. Dies schafft die einzigartige Möglichkeit, dass die Schmelze in der Kavität wandert und in der Kavität bei den gleichen Druckcharakteristika in allen Bereichen des Teils erhärtet. Dies eliminiert auch die Möglichkeit, dass in dem geschmolzenen Plastik eingeschlossene Gase an die Oberfläche des Plastikschusses wandern. Die Zuführgeschwindigkeit des geschmolzenen Plastiks in die Kavität wird in allen Bereichen der Kavität konstant gehalten. Diese konstante Zuführgeschwindigkeit schafft zusammen mit den in den Gaseinschlüssen und der Feuchtigkeit erzeugten internen Drücken wegen des vorherigen unter Druck stattfindenden Kontakts des geschmolzenen Plastiks mit den Kavitätenwänden den Vorteil der Erhöhung der Abkühlgeschwindigkeiten. Dieser unter Druck stattfindende Kontakt ermöglicht dem geschmolzenen Plastik infolge der Wärmeabgabe durch die Wände der Kavität eine schnellere Abkühlung. Erhöhte Abkühlgeschwindigkeiten haben eine beträchtliche Zykluszeitverminderung zur Folge, was zu erheblichen Einsparungen für den Hersteller führt.

[0041] Das Kontrollieren des Luftdrucks in der Kavität der Form schafft die Möglichkeit der Erzeugung eines ausgewogenen Formumfelds für das geschmolzene Plastik. Die Verarbeitung des geschmolzenen Plastiks unter diesen Bedingungen verhindert die Zersetzung und Spaltung der Polymere, die bei Vorhandensein von Feuchtigkeit normalerweise von Abbauprodukten chemisch angegriffen werden.

[0042] Infolge des Druckausgleichs zwischen dem Luftdruck in der Kavität und dem Schmelzedruck wird die Entwicklung von Oberflächenspannung in dem Plastik vermieden. Tatsächlich verursacht dieses ausgewogene Drucksystem eine gerichtete Erhärtung des Plastiks. Mit anderen Worten, das geschmolzene Plastik kühlt von der Oberfläche des geschmolzenen Plastiks bis zur Mitte des Plastiks in einer konstanten, geraden Linie ab. Diese gerichtete Erhärtung eliminiert Oberflächenspannungen, die zu Schrumpfungen, Einsinkungen und konkaven oder konvexen Verformungen des Teils führen. Das Endergebnis dieses Prozesses ist die Produktion eines Teils, das von Schrumpfungen und Einsinkungen frei, vollkommen spannungsunbelastet und eine beinahe exakte Kopie der Kavitätsoberfläche ist. Darüber hinaus bringt dieser Prozess Teile hervor, die neben einer verbesserten strukturellen Integrität starke mechanische Eigenschaften und Aufbaustabilität aufweisen.

[0043] Nach der am ehesten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Spritzgießverfahren zur Verwendung mit einer Spritzgießmaschine vorgesehen. Der erste Schritt besteht in der Berechnung einer maximalen Spannung, unter die ein in der Spritzgießmaschine **10** zu formender Plastikschuss gesetzt wird, wobei die Spannung eine Folge der volumetrischen Schrumpfung ist, die eintritt, wenn das Plastik in der Kavität **30** der Form **22** abgekühlt wird. In der Annahme, dass das zu formende Teil ein länglicher Stab mit einem rechteckigen Querschnitt ist, gelten die folgenden Formeln. Die maximale einheitliche Füllmenge, der das Teil infolge der Schrumpfung ausgesetzt ist, wird folgendermaßen berechnet:

$$q = \frac{y\,E\,h^3\,[\,1 + 1{,}05\,(a/b)^5]}{k\,a^4}$$

wobei q eine einheitliche Füllmenge pro Flächeneinheit, a die Breite der Kavität, b die Dicke der Kavität, h die Höhe der Kavität, E ein offensichtlicher Elastizitätsmodul des Plastiks, k eine auf der Formbeständigkeitstemperatur des Plastiks basierende Variable und y ein Schrumpfungsfaktor des Plastiks ist.

[0044] Die Gleichungen zur Berechnung der einheitlichen Füllmenge variieren abhängig vom Aufbau des Teils und des zu verarbeitenden Plastiks. Natürlich können diese Formeln in der Maschinensteuereinheit so programmiert werden, dass der Anwender nur die Eigenschaften des Plastiks zur Bedienung der Maschine eingeben muss.

[0045] Eine maximale mechanische Spannung, der der Plastikschuss ausgesetzt ist, wird daraufhin gemäß der maximalen einheitlichen Füllmenge berechnet:

$$S\ (mechanisch) = \frac{qa^2}{2h^2[1+,0623(^a/_b)^6]}$$

wobei S (mechanisch) eine maximale mechanische Spannung, unter die das Teil gesetzt wird, a die Breite der Kavität, b die Dicke der Kavität, h die Höhe der Kavität und q die einheitliche Füllmenge pro Flächeneinheit ist.

[0046] Auch hier variieren die Gleichungen zur Berechnung der maximalen mechanischen Spannung abhängig vom Aufbau des Teils.

[0047] Eine maximale thermische Spannung, unter die der Plastikschuss gesetzt wird, wird daraufhin gemäß der folgenden Formel berechnet:

S (thermisch) = dT·L·E

wobei S (thermisch) eine maximale thermische Spannung ist, unter die das Teil gesetzt wird, dT eine Änderung der Temperatur des Plastiks zwischen der Zimmertemperatur und der Temperatur ist, bei der sich das Plastik in einem Plastikdeformationsbereich befindet, L ein thermischer Koeffizient und E ein Elastizitätsmodul des Plastiks ist.

[0048] Schließlich wird die maximale Spannung, unter die ein Plastikschuss gesetzt wird, so festgesetzt, dass sie der größere Wert von S (mechanisch) und S (thermisch) ist.

[0049] Der nächste Schritt in dem Prozess ist, einen Plastikschuss bis zu einem ersten Schmelzedruck unter Druck zu setzen, während das Plastik im Zylinder **16** der Spritzgießmaschine plastifiziert wird, wobei der erste Schmelzedruck im Wesentlichen gleich der berechneten maximalen Spannung ist.

[0050] Die Kavität **30** wird daraufhin bis zu einem Luftdruck unter Druck gesetzt, der im Wesentlichen gleich dem ersten Schmelzedruck ist. Mit der Einspritzung des Plastikschusses in die Kavität wird begonnen, sobald der Luftdruck den ersten Schmelzedruck erreicht hat. Während das geschmolzene Plastik in die Kavität **30** eintritt, wirkt der Luftdruck in der Kavität gegen den Schmelzedruck, um einen Druckausgleich für das geschmolzene Plastik zu schaffen.

[0051] Während der Plastikschuss in die Kavität gespritzt wird, wird der Schmelzedruck auf dem Plastikschuss vom ersten Schmelzedruck auf einen zweiten Schmelzedruck erhöht, während der Luftdruck in der Kavität im Wesentlichen konstant gehalten wird. Darüber hinaus wird eine im Wesentlichen konstante Differenz zwischen dem Luftdruck in der Kavität und dem zweiten Schmelzedruck während eines beträchtlichen Teils einer Zeitspanne aufrechterhalten, in der der Plastikschuss in die Kavität gespritzt wird. Eine Bezugnahme auf Abb. 4 und Abb. 5 veranschaulicht dieses Verfahren genauer. Bei der Bezugnahme auf Abb. 4 werden der Luftdruck **50** in der Kavität und der Schmelzedruck **52** des geschmolzenen Plastiks als eine Zeitfunktion veranschaulicht. Während der Zeitspanne t1 wird der Luftdruck **50** so aufgebaut, dass er gleich dem Schmelzedruck **52** ist. Die Zeitspanne t2 ist eine Relaxationszeit, um zu ermöglichen, dass der Luftdruck gleich dem Schmelzedruck gemacht werden kann. Während t3 beginnt die Einspritzung des geschmolzenen Plastiks in die Kavität, und der Schmelzedruck erhöht sich vom ersten Schmelzedruck auf den zweiten Schmelzedruck. Während t4 wird die Druckdifferenz zwischen dem zweiten Schmelzedruck und dem Luftdruck **50** im Wesentlichen konstant gehalten, wie in Abb. 5 gezeigt. In der Zeit t5 wird der Schmelzedruck **52** vom zweiten Schmelzedruck auf den ersten Schmelzedruck verringert, und die beiden Drücke werden während der Zeit t6 gleich gemacht. Bei t7 wird der Luftdruck **50** in der Kavität verringert, und der nächste Plastikschuss wird vorbereitet.

[0052] Für die vorliegende Erfindung kommt in Betracht, dass für den Luftdruck oder den Schmelzedruck keine spezifischen Druckprofile erforderlich sind. Das Entscheidende an dieser Erfindung ist die vorherige Belastung des Systems und das Aufrechterhalten einer Druckdifferenz zwischen dem Luftdruck und dem Schmelzedruck für einen beträchtlichen Teil der Einspritzung. Die Druckdifferenz wird in Übereinstimmung mit den spezifischen Anwendungserfordernissen zum Kontrollieren des Ausmaßes des dynamischen Drucks erzeugt, der in statischen Druck umgewandelt wird, und die Druckdifferenz kann dementsprechend variieren. Deshalb können der Luftdruck und der Schmelzedruck in Übereinstimmung mit dem jeweiligen Druckprofil verringert oder erhöht werden, vorausgesetzt die Druckdifferenz zwischen dem Schmelzedruck und dem Luftdruck wird im Wesentlichen konstant gehalten. Des Weiteren ist es keine Erfordernis, dass der Luftdruck ursprünglich so festgelegt wird, dass er der Berechnung der maximalen Spannung gleich ist. Auch hier ist das Entscheidende die Entwicklung und Aufrechterhaltung einer Druckdifferenz zwischen dem Luftdruck und dem Schmelzedruck,

wenn das geschmolzene Plastik in die Kavität gespritzt wird. Für die vorliegende Erfindung kommen variierende Luftdruck- und Schmelzedruckprofile in Betracht.

[0053] Eine Regeleinrichtung **40** ist zur Überwachung des ersten und zweiten Schmelzedrucks und des Luftdrucks in der Kavität und zur Erzeugung von Signalen zur Aufrechterhaltung des ersten und zweiten Schmelzedrucks vorgesehen.

[0054] Schließlich wird das Verfahren durch die Rückkehr zum Schritt des Unter-Druck-Setzens des nächsten Plastikschusses auf einen ersten Schmelzedruck im Zylinder **16** wiederholt. Dementsprechend werden wiederholt Spritzgussprodukte produziert.

[0055] Weiterhin bevorzugt wird die Einspritzung des Plastikschusses in die Kavität vom Zylinder **16** bei relativ geringen Geschwindigkeiten. Die Hersteller bieten gewöhnlich empfohlene Einspritzgeschwindigkeiten zwischen hohen und niedrigen Geschwindigkeitswerten an. Es ist wünschenswert, ein geschmolzenes Plastik in den unteren 10 % der von den Herstellern empfohlenen Geschwindigkeiten in die Kavität zu spritzen, um die Turbulenz und Materialzersetzung des Plastiks zu verringern. Ähnlich bieten die Hersteller hohe und niedrige Einspritzdruckwerte an. Es ist wünschenswert, das Plastik bei einem Einspritzdruck in den unteren 10 % der von den Herstellern empfohlenen Bereiche in die Kavität zu spritzen. Das Füllen der Kavität bei niedrigen Einspritzgeschwindigkeiten und niedrigen Einspritzdrücken verhindert die Zerstörung und Zersetzung der Polymerketten.

[0056] Die vorliegende Erfindung sieht weiterhin ein Spritzgießverfahren zur Verwendung mit einer Spritzgießmaschine vor, das Folgendes umfasst: (a) Bildung einer Vielzahl von Entlüftungen **42** in einer Form zur Verwendung in der Spritzgießmaschine, wobei die Form über eine darin gebildete Kavität verfügt, die Entlüftungen in fluidischer Verbindung mit der Kavität **30** der Form sind, um Druckluft aus der Kavität entweichen zu lassen, während in der Kavität ein im Wesentlichen konstanter Luftdruck gehalten wird, gemäß der folgenden Formel: $A = 0{,}24241 \cdot W \cdot \sqrt{T1}/(C \cdot P1)$, wobei A eine Querschnittsfläche einer Entlüftung ist, W das Austreten von Luft durch die Entlüftung in Pfund pro Sekunde ist (wobei 1 Pfund pro Sekunde 0,45 Kilogramm pro Sekunde entspricht), C ein Strömungskoeffizient ist, P1 der Luftdruck in der Kavität in Pfund pro Quadratzoll ist (wobei 1 Pfund pro Quadratzoll 703,07 Kilogramm pro Quadratmeter entspricht) und T1 eine Temperatur in der Kavität in Grad Fahrenheit ist (wobei Grad Fahrenheit in Grad Celsius durch die Subtraktion von 32 und die Multiplikation mit 5/9 umgerechnet wird); (b) Bildung eines Kanals **44** von der Form, der in fluidischer Verbindung mit den Entlüftungen **42** ist; (c) Abdichtung der Form, um das Entweichen von Druckluft aus der Kavität und aus dem Kanal zu verhindern; (d) Bereitstellung eines ersten und zweiten Ventils **46**, **48** in selektiver fluidischer Verbindung mit dem von der Form gebildeten Kanal **44**, wobei das erste Ventil **46** selektiv verstellbar ist zwischen einer geschlossenen Position, wobei verhindert wird, dass Druckluft sich hierdurch bewegt, und einer offenen Position, wobei Druckluft in den Kanal **44** hierdurch eintreten darf, und das zweite Ventil **48** selektiv verstellbar ist zwischen einer geschlossenen Position, wobei verhindert wird, dass Druckluft sich hierdurch bewegt, und einer offenen Position, wobei Druckluft hierdurch aus dem Kanal **44** austreten darf; (e) Berechnung einer maximalen Spannung, unter die ein in der Spritzgießmaschine geformter Plastikschuss gesetzt wird, wobei die Spannung die Folge einer volumetrischen Schrumpfung ist, die eintritt, wenn das Plastik in der Kavität der Form abgekühlt wird; (f) Unter-Druck-Setzen eines Schusses geschmolzenen Plastiks im Zylinder **16** der Spritzgießmaschine auf einen ersten Schmelzedruck, wobei der erste Schmelzedruck im Wesentlichen gleich der maximalen Spannung ist; (g) Verstellen des ersten Ventils **46** in die offene Position; (h) Verstellen des zweiten Ventils **48** in die geschlossene Position; (i) Einführen von Druckluft durch das erste Ventil **46** in die Kavität **30**, bis der Luftdruck in der Kavität im Wesentlichen gleich dem ersten Schmelzedruck ist; (j) Verstellen des ersten Ventils in die geschlossene Position; (k) Beginnen mit der Einspritzung des Plastikschusses in die Kavität **30**; (1) Erhöhen des Schmelzedrucks des Plastikschusses auf einen zweiten Schmelzedruck; auf diese Weise Erzeugung einer Druckdifferenz zwischen dem zweiten Schmelzedruck und dem Gasdruck in der Kavität; (m) Aufrechterhalten der im Wesentlichen konstanten Druckdifferenz zwischen dem zweiten Schmelzedruck und dem Luftdruck in der Kavität für einen beträchtlichen Teil der Zeitspanne, in der Plastik in die Kavität gespritzt wird; (n) Verstellen des zweiten Ventils **48** in die offene Position, um Druckluft aus dem Kanal entweichen zu lassen; und (o) Rückkehr zu Schritt (f).

[0057] Es versteht sich, dass diese Schritte nicht unbedingt sequenziell ausgeführt werden müssen. Variationen in der Reihenfolge der bei diesem Verfahren vorgesehenen Schritte kommen im Rahmen der vorliegenden Erfindung in Betracht.

[0058] Die Bezugnahme auf **Abb. 4** stellt die Grundlage für die Beschreibung der Ventile **46**, **48** und des Entlüftungssystems dar, wie in der zweiten oben beschriebenen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vor-

gesehen. Beginnend mit Schritt (h) der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird das erste Ventil **46** in die offene Position verstellt und das zweite Ventil **48** in die geschlossene Position vor der Zeitspanne t1 von Abb. 4 verstellt. Während der Zeit t1 wird durch das erste Ventil **46** Druckluft in die Kavität **30** eingeführt, bis der Luftdruck in der Kavität im Wesentlichen gleich dem ersten Schmelzedruck ist. Das erste Ventil **46** wird daraufhin in die geschlossene Position verstellt. Das erste und das zweite Ventil bleiben geschlossen, während das geschmolzene Plastik in die Kavität gespritzt wird. Eine Druckdifferenz wird daraufhin zwischen dem Luftdruck in der Kavität und einem zweiten Schmelzedruck für eine beträchtliche Zeitspanne (T4) hergestellt und aufrechterhalten. Der Schmelzedruck und der Luftdruck werden daraufhin gleich gemacht (T5, T6), und das zweite Ventil **48** wird daraufhin in die offene Position verstellt, um Druckluft aus dem Kanal entweichen zu lassen (T7).

[0059] Der Zweck dieses geschlossenen Entlüftungssystems ist, für das geschmolzene Plastik ein Formumfeld zu schaffen, wobei auf jedes einzelne Gasmolekül wirkende Drücke so ausgeglichen werden, dass nur wenig Gasbewegung im Plastik zwischen nebeneinander befindlichen Molekülen stattfindet. Dieses Gleichgewicht verhindert, dass sich Gasmoleküle zur Oberfläche des Plastiks hinbewegen oder sich mit anderen Gasmolekülen verbinden, um größere Lunker oder Zellen zu bilden.

[0060] Ein Fachmann wird den Nutzen des Hinzufügens chemischer Treibmittel zu geschmolzenem Plastik zu würdigen wissen. Chemische Treibmittel sind nützlich für das Kontrollieren der in der Schmelze bei der Plastifizierung zerlegten und eingeschlossenen Gasmenge. Diese Treibmittel erzeugen bei der Erhitzung inerte Gase. Die Gase erzeugen in dem Material Lunker, was zu einer beträchtlichen Verringerung des Teilgewichts führen kann, und der Druck dieser Lunker kann genutzt werden, um zum Füllen der Kavität beizutragen und das Plastik gegen die Wände der Kavität zu drücken.

[0061] Unter Bezugnahme auf die Abb. 1-Abb. 3 sieht die vorliegende Erfindung weiterhin eine Form **22** zur Verwendung in einer Spritzgießmaschine **10** vor. Die Form hat eine vordere Hälfte **24** und eine hintere Hälfte **26**, wobei die vordere Hälfte **24** eine hierdurch gebildete Öffnung **28** zur Aufnahme geschmolzenen Plastiks von der Spritzgießmaschine hat. Die vordere Hälfte **24** und die hintere Hälfte **26** wirken zusammen, um dazwischen eine Kavität **30** zu bilden. Die Kavität **30** ist in fluidischer Verbindung mit der Öffnung **28**, um geschmolzenes Plastik davon aufzunehmen. Eine Vielzahl von Entlüftungen werden in der hinteren Hälfte der Form gebildet, wie in Abb. 2 gezeigt. Die Entlüftungen **42** haben erste und zweite Enden. Das erste Ende jeder der in Vielzahl vorhandenen Öffnungen ist in fluidischer Verbindung mit der Kavität **30**. Die Entlüftungen sind gemäß der folgenden Formel so aufgebaut, dass in der Kavität **30** ein im Wesentlichen konstanter Luftdruck aufrechterhalten wird, während die Kavität mit Plastik gefüllt wird: $A = 0{,}24241 \cdot W \cdot \sqrt{T1}/(C \cdot P1)$, wobei A eine Querschnittsfläche einer Entlüftung ist, W das Ausströmen von Druckluft durch die Entlüftung in Pfund pro Sekunde ist (wobei 1 Pfund pro Sekunde 0,45 Kilogramm pro Sekunde entspricht), C ein Strömungskoeffizient ist, P1 der Luftdruck in der Kavität in Pfund pro Quadratzoll ist (wobei 1 Pfund pro Quadratzoll 703,07 Kilogramm pro Quadratmeter entspricht) und T1 eine Temperatur in der Kavität in Grad Fahrenheit ist (wobei Grad Fahrenheit in Grad Celsius durch die Subtraktion von 32 und die Multiplikation mit 5/9 umgerechnet wird).

[0062] Ein Kanal **44** wird in der hinteren Hälfte der Form gebildet. Der Kanal **44** ist in fluidischer Verbindung mit dem zweiten Ende jeder der in Vielzahl vorhandenen Entlüftungen **42**. Die Kavität **30**, die Entlüftungen **42** und der Kanal **44** werden in Abb. 3 gezeigt. Ein Paar Ventile **46**, **48** sind in selektiver fluidischer Verbindung mit dem Kanal **44**. Das erste Ventil **46** ist so angepasst, dass es selektiv Druckluft von einer pneumatischen Leitung **34** aufnimmt, um den Kanal **44** mit Druckluft zu versorgen. Das zweite Ventil **48** ist so angepasst, dass es das Ausströmen von Druckluft vom Kanal **44** selektiv zulässt.

[0063] Eine Gummidichtung **38** ist in der hinteren Hälfte der Form vorgesehen und begrenzt die Kavität und den Kanal und ist zwischen der vorderen Hälfte und der hinteren Hälfte positioniert, um das Austreten von Druckluft aus der Kavität und aus dem Kanal zu verhindern, während die Kavität mit geschmolzenem Plastik gefüllt wird. Bei der Einspritzung neigen die vordere Hälfte und die hintere Hälfte der Form dazu, ein wenig auseinander zu gehen. Die Gummidichtung **38** verhindert das Ausströmen von Druckluft aus der Kavität, wenn dieses Auseinandergehen eintritt.

[0064] Während die besten Ausführungsformen der Erfindung detailliert beschrieben wurden, werden diejenigen, die mit dem Fachgebiet vertraut sind, das diese Erfindung betrifft, verschiedene Alternativmodelle und -ausführungsformen bezüglich der Ausführung der Erfindung erkennen, wie von den folgenden Patentansprüchen definiert.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren, bei dem geschmolzenes Plastik in eine Formkavität (**30**), die in einer Form (**22**) gebildet wird, gespritzt wird, wobei das geschmolzene Plastik infolge der Schrumpfung unter Spannung gesetzt wird, während sich das geschmolzene Plastik in der Formkavität (**30**) zusammenzieht, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:
Versorgen der Formkavität (**30**) mit Druckgas, bevor das geschmolzene Plastik in die Formkavität (**30**) gespritzt wird;
Unter-Druck-Setzen des geschmolzenen Materials vor dem Einspritzen;
Einspritzen des geschmolzenen Materials gegen das Druckgas in die Formkavität (**30**), um einen resultierenden internen Gegendruck in dem geschmolzenen Plastik herzustellen;
Aufrechterhalten des Gegendrucks entsprechend der Schrumpfungsspannung im geschmolzenen Plastik, während das geschmolzene Material in die Kavität (**30**) gespritzt wird; und
Aufrechterhalten einer Druckdifferenz zwischen dem Gasdruck und dem Schmelzedruck des geschmolzenen Plastiks für einen beträchtlichen Teil der Einspritzung.

2. Das Verfahren von Anspruch 1, das des Weiteren Folgendes umfasst;
Versorgen der Kavität (**30**) mit dem Druckgas unter einem vorher festgelegten Gasdruck vor der Einspritzung;
Unter-Druck-Setzen des geschmolzenen Plastiks bis zu einem ersten Schmelzedruck, der im Wesentlichen dem vorher festgelegten Gasdruck entspricht;
Übertragen des geschmolzenen Plastiks an die Kavität (**30**), wenn der Schmelzedruck und der Gasdruck im Wesentlichen gleich sind; und
anschließendes Erhöhen des ersten Schmelzedrucks auf einen zweiten Schmelzedruck, damit das geschmolzene Plastik in die Formkavität (**30**) gespritzt werden kann.

3. Das Verfahren von Anspruch 1, das des Weiteren Folgendes umfasst:
Überwachen des Schmelzedrucks bei der Einspritzung;
Überwachen des Gasdrucks in der Kavität (**30**) bei der Einspritzung; und
Kontrollieren der Einspritzung des geschmolzenen Plastiks als Reaktion auf den überwachten Schmelzedruck und den überwachten Gasdruck, um den Schmelzedruck auf den gewünschten Stufen zu halten.

4. Das Verfahren von Anspruch 1, wobei dieser Schritt des Versorgens der Kavität (**30**) mit Gas aus dem Versorgen der Kavität (**30**) mit Luft besteht.

5. Werkzeug (**10**) zum Einspritzen geschmolzenen Plastiks in eine Formkavität (**30**), die einen Schmelzbehälter (**16**) enthält, der Mittel hat, um geschmolzenes Plastik unter Druck zu setzen, wobei das Werkzeug (**10**) Folgendes umfasst:
eine Quelle von Druckgas in selektiver Verbindung mit der Formkavität (**30**), um die Formkavität (**30**) mit Druckgas zu versorgen;
erstes Mittel, um den Gasdruck in der Kavität zu bestimmen;
zweites Mittel, um den Schmelzedruck des geschmolzenen Plastiks im Schmelzbehälter zu bestimmen; und gekennzeichnet durch:
eine Regeleinrichtung (**40**), die mit dem ersten Mittel und zweiten Mittel verbunden ist, um den bestimmten Druck des Gases in der Kavität (**30**) und die bestimmten Schmelzedrücke im Schmelzbehälter (**16**) zu überwachen und um die bestimmten Drücke mathematisch zu verarbeiten, um ein Signal zu erlangen, damit das Unter-Druck-Setzen des geschmolzenen Plastiks, das in die Formkavität (**30**) gespritzt wird, kontrolliert und eine Druckdifferenz zwischen dem Gasdruck und dem Schmelzedruck des geschmolzenen Plastiks für einen beträchtlichen Teil der Einspritzung aufrechterhalten werden kann.

6. Verwendung eines Spritzgießwerkzeugs (**10**) in einer Spritzgießmaschine gemäß Anspruch 5, wobei das Spritzgießwerkzeug Folgendes umfasst:
eine vordere Hälfte (**24**) und eine hintere Hälfte (**26**) der Form, wobei die vordere Hälfte (**24**) eine Öffnung (**28**) hat, die dadurch gebildet wird, geschmolzenes Plastik von der Spritzgießmaschine her aufzunehmen, wobei die vordere Hälfte (**24**) und die hintere Hälfte (**26**) zusammenwirken und eine Kavität (**30**) dazwischen bilden und diese Kavität (**30**) mit der Öffnung (**28**) in fluidischer Verbindung ist, um geschmolzenes Plastik von dort aufzunehmen; gekennzeichnet durch:
eine Vielzahl von Entlüftungen (**42**), die in der hinteren Hälfte (**26**) oder vorderen Hälfte (**24**) gebildet werden, wobei die Entlüftungen (**42**) erste und zweite Enden haben, das erste Ende jeder der in Vielzahl vorhandenen Entlüftungen (**42**) mit der Kavität (**30**) in fluidischer Verbindung ist und die Entlüftungen (**42**) so aufgebaut sind, dass sie als Ventil fungieren, um einen im Wesentlichen konstanten Luftdruck in der Kavität (**30**) aufrechtzuer-

halten, während die Kavität (**30**) mit Plastik gefüllt wird;
einen Kanal (**44**), der in der hinteren Hälfte (**26**) oder vorderen Hälfte (**24**) gebildet wird, wobei dieser Kanal mit dem zweiten Ende jeder der in Vielzahl vorhandenen Entlüftungen (**42**) in fluidischer Verbindung ist; und
eine Dichtung (**38**), die die Kavität (**30**) und den Kanal (**44**) begrenzt und die zwischen der vorderen Hälfte (**24**) und hinteren Hälfte (**26**) positioniert ist, damit ein ungewolltes Ausströmen von Druckluft aus der Kavität (**30**) und dem Kanal (**44**) zwischen der vorderen Hälfte (**24**) und der hinteren Hälfte (**26**) der Form verhindert wird, während die Kavität (**30**) mit geschmolzenem Plastik gefüllt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

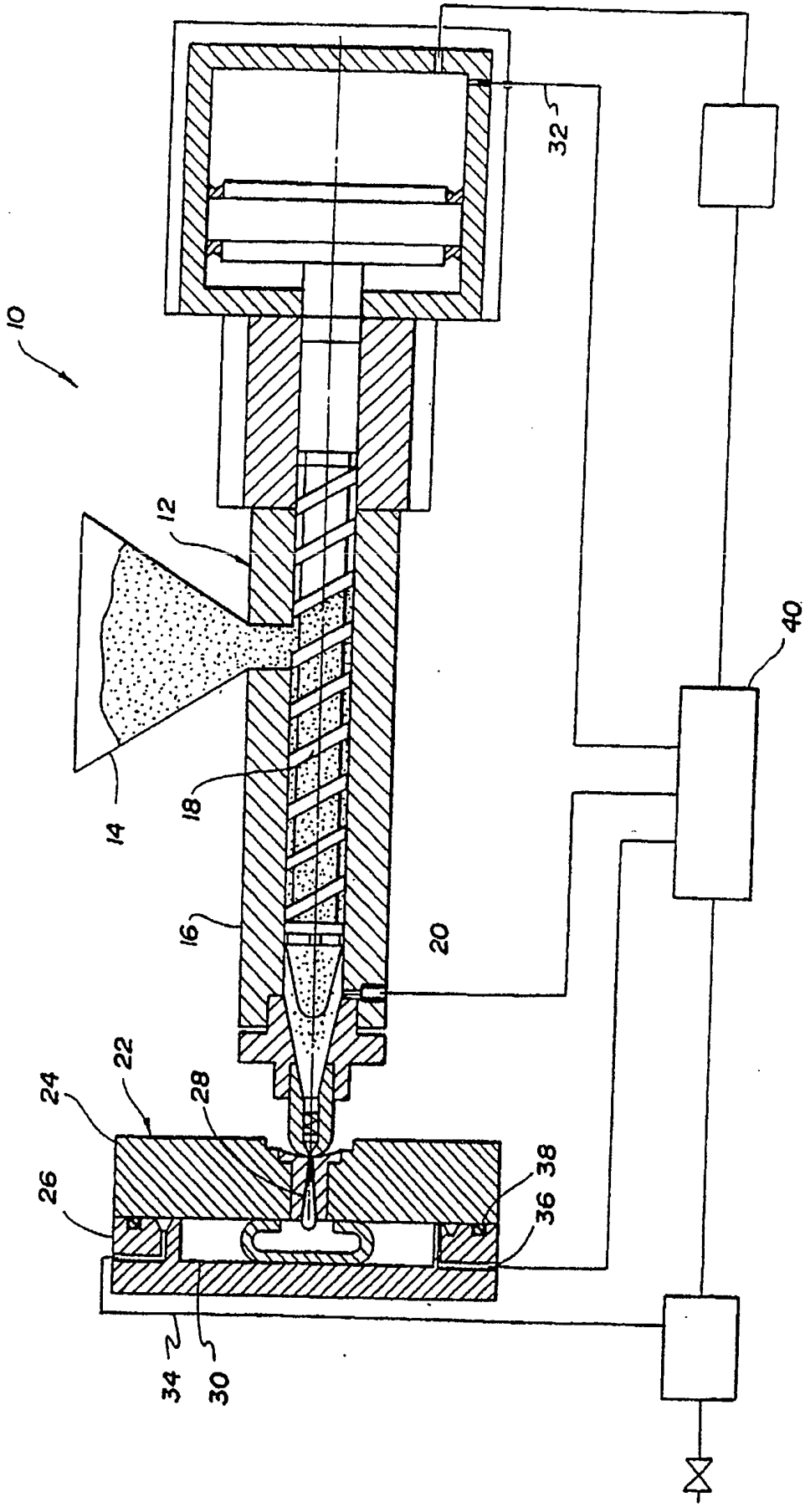


Fig. 1

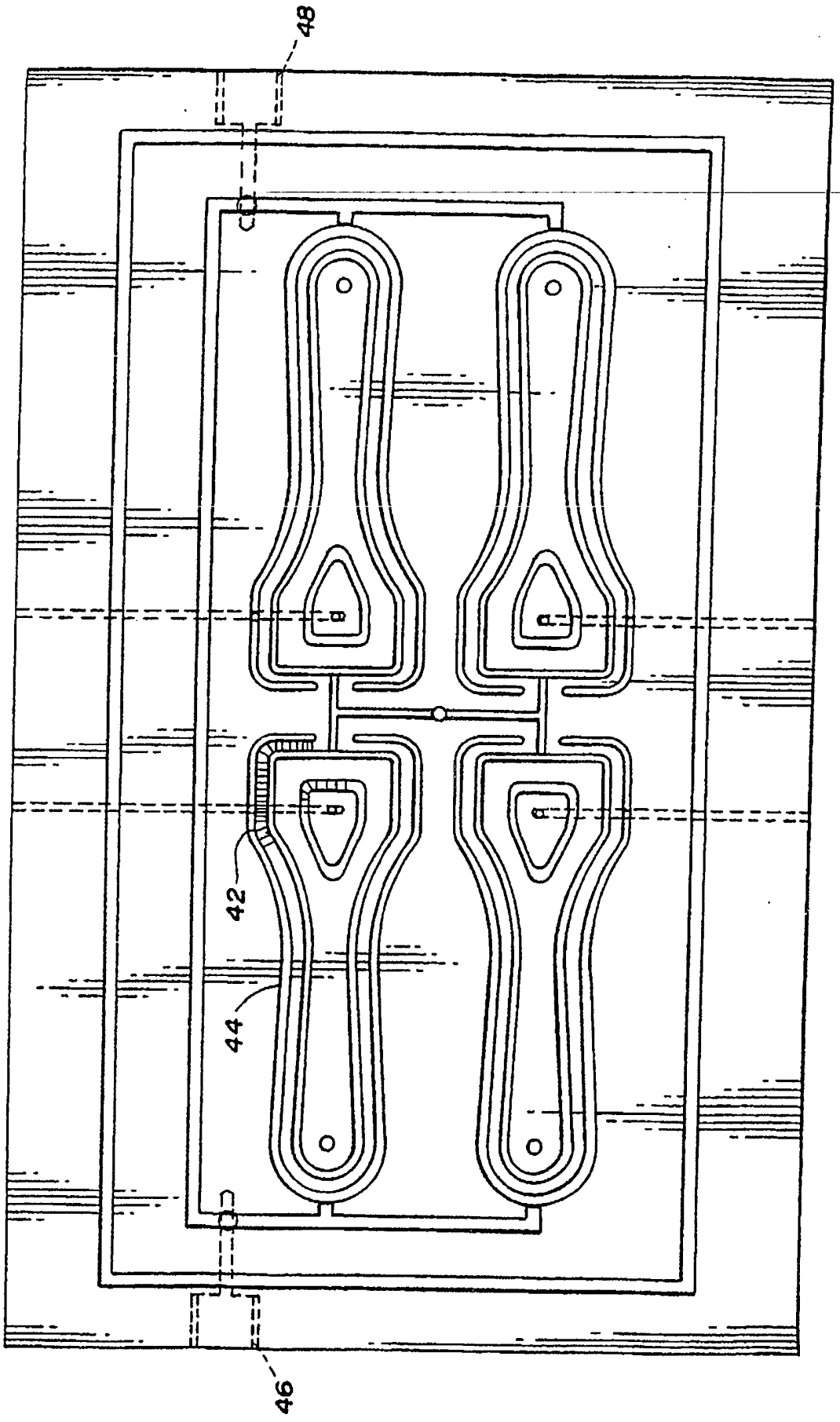


Fig. 2

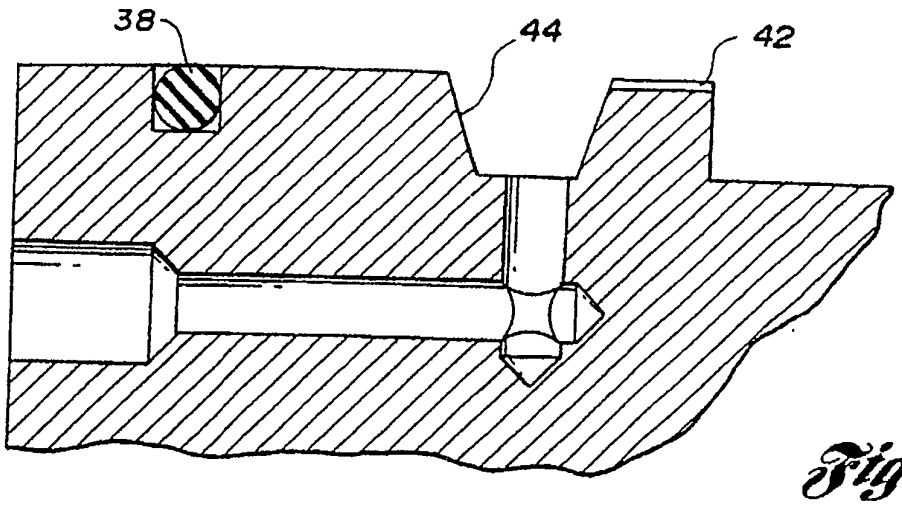


Fig. 3

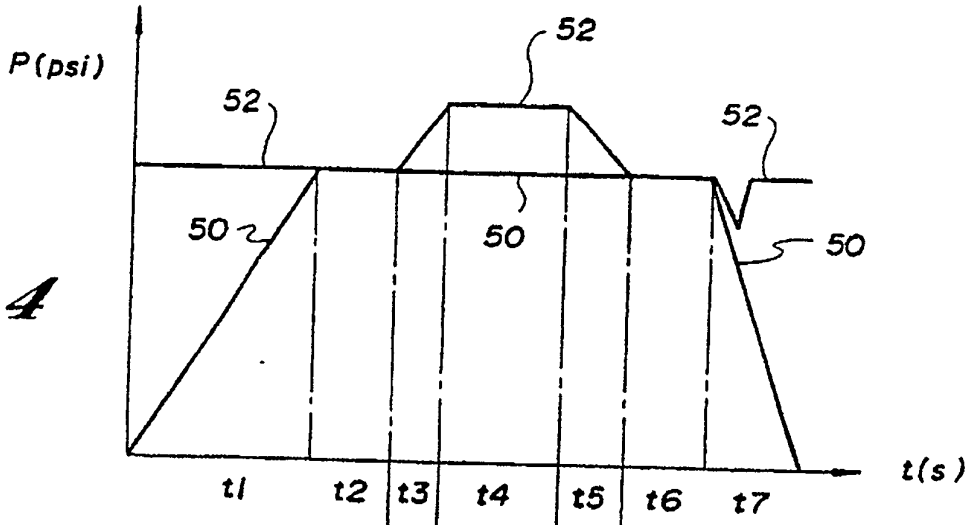


Fig. 4

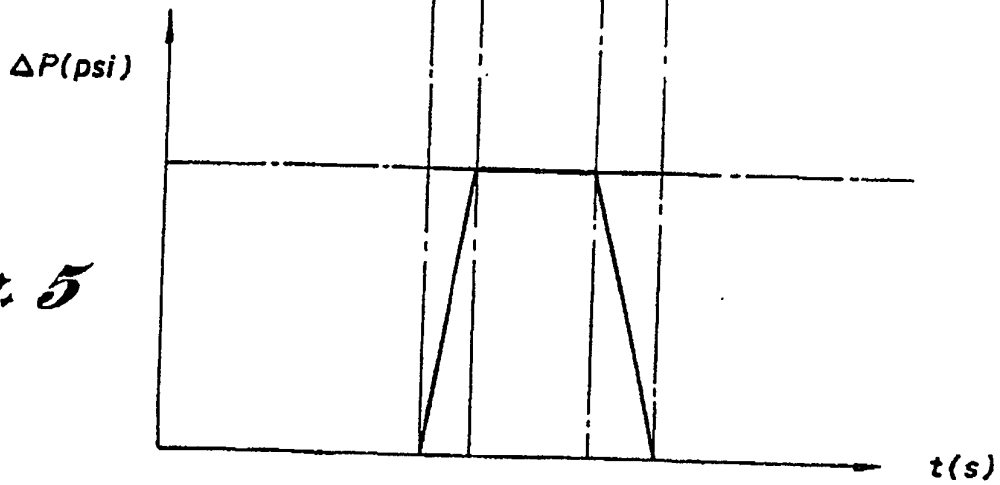


Fig. 5

DRUCKDIFFERENZPROFIL