

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 524/2006 (51) Int. Cl.⁸: **B29C 45/77** (2006.01)
B29C 45/46 (2006.01)
(22) Anmeldetag: 2006-03-28
(43) Veröffentlicht am: 2007-01-15

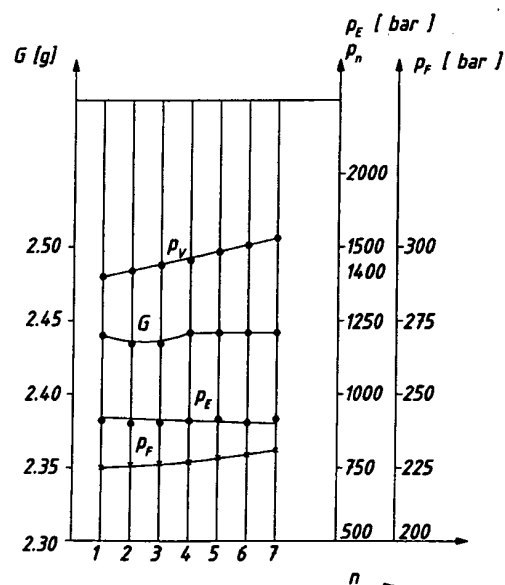
(30) Priorität:
27.04.2005 AT GM 271/05 beansprucht.
(56) Entgegenhaltungen:
DE 10309871A1

(73) Patentanmelder:
ENGEL AUSTRIA GMBH
A-4311 SCHWERTBERG (AT)
(72) Erfinder:
LAMPL ALFRED DIPL.ING. DR.
SCHWERTBERG (AT)

(54) VERFAHREN ZUM SPRITZGIESSEN

(57) Verfahren zum Spritzgießen, bei dem Kunststoffschmelze mindestens zweimal, vorzugsweise mehrmals, aus einem Vorraum (1) in einen Formhohlraum (4) gespritzt wird und diesen unter Druck füllt, ohne dass dazwischen ein Dosieren erfolgt, wobei bei jedem Formfüllvorgang durch eine Korrektur eines Vorspanndrucks das Gewicht der Spritzgussteile konstant gehalten wird.

Fig. 4



Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Spritzgießen, bei dem Kunststoffschmelze mindestens zweimal, vorzugsweise mehrmals, aus einem Vorraum in einen Formhohlraum gespritzt wird und diesen unter Druck füllt, ohne dass dazwischen ein Dosieren erfolgt.

5 Mit gattungsgemäßen Verfahren werden in der Regel kleine Werkstücke, also Spritzgussteile mit geringem Gewicht hergestellt. Dabei sind meistens Toleranzen in sehr engen Grenzen gefordert. Diese werden aber bei den beim Stand der Technik bekannten gattungsgemäßen Verfahren häufig nicht oder nur unzureichend eingehalten.

10 Aufgabe der Erfindung ist es daher, die gattungsgemäßen Verfahren dahingehend weiter zu verbessern, dass bei mehrmaligem Füllen der Werkzeugkavität ohne dazwischen durchgeführtem Dosieren die geforderten Qualitätsmerkmale der produzierten Spritzgussteile eingehalten werden.

15 Dies wird erfindungsgemäß erreicht, indem bei jedem Formfüllvorgang durch eine Korrektur des Vorspanndrucks das Gewicht der Spritzgussteile konstant gehalten wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht also vor, die sich durch mehrmaliges Einspritzen geänderten Einspritzparameter durch ein Korrekturprogramm automatisch zu korrigieren, damit eine
20 gleichmäßige Teilequalität bei jedem Formfüllvorgang gewährleistet ist.

Bevorzugte Ausgestaltungsformen eines erfindungsgemäßen Verfahrens sehen vor, dass der Vorspanndruck im Vorraum so korrigiert wird, dass der Enddruck nach jeder Füllung den gleichen Wert aufweist. Unter dem Enddruck ist dabei der Druck zu verstehen, der unmittelbar nach
25 der vollständigen Füllung des Formhohlraums und unmittelbar vor dem Schließen der Verschlussdüse im System aus Formhohlraum und Massezylinder herrscht. Es ist also der Druck am Ende eines Formfüllvorgangs, bei welchem die Kunststoffschmelze aus dem Vorraum in den Formhohlraum gespritzt wurde.

30 Neben dieser ersten Variante die Qualität der erzeugten Werkstücke bzw. Spritzgussteile auch bei mehreren Formfüllvorgängen ohne dazwischen erfolgtes Dosieren konstant zu halten, bietet sich vorzugsweise noch eine zweite erfindungsgemäße Variante an. Diese besteht darin, dass der Vorspanndruck im Vorraum so korrigiert wird, dass die gleiche Füllzeit für jeden Füllvorgang erreicht wird.

35 Das erfindungsgemäße Verfahren kann besonders bevorzugt beim so genannten Expansions-spritzgießen eingesetzt werden. Beim Expansionsspritzgießen an sich wird üblicherweise ein Vielfaches (zB zehn- bis zwanzigfaches) des erforderlichen Spritzteilmolumens in den Vorraum gefördert, um die für den Einspritzvorgang notwendige Energie zu speichern. Die so gespeicherte Energie reicht dabei dazu aus, genug plastifiziertes Material ausreichend rasch aus dem
40 Vorraum in den Formhohlraum einzuspritzen, ohne dass dazu noch ein Einspritzhub einer Schnecke oder eines Einspritzkolbens notwendig wäre. Das Expansionsspritzgießen an sich wurde bereits 1962 im US Patent 3,052,925 beschrieben. Das große gespeicherte Schmelzevolumen ermöglicht bei der erfindungsgemäßen Weiterbildung des Expansionsspritzgießens eine
45 mehrmalige Füllung des Formhohlraums, ohne dass zwischen den einzelnen Füllvorgängen ein Dosieren, also ein Nachfüllen von plastifiziertem Material in den Vorraum, erfolgt.

Beim Expansionsspritzgießen ändern sich der Druck und die Volumina der komprimierten Stoffe (Kunststoffschmelze, Hydrauliköl, Druckgas) bei der Werkzeug- bzw. Formhohlraumfüllung.
50 Werden die darauf folgenden Füllvorgänge ohne Korrektur eingeleitet, so sind die vorgegebenen Toleranzen in der Regel nicht mehr einhaltbar. Maßgebend für ein entsprechendes Korrekturprogramm ist die Geometrie der druckbeaufschlagten Maschinenteile der Spritzeinheit, der gewählte Vorspanndruck, die Volumen der komprimierten Stoffe und deren physikalische Kenn-
55 daten.

Ein mehrmaliges Einspritzen ohne Dosieren nach jedem Formfüllvorgang ist aber auch zur Herstellung von Spritzgussteilen mit geringen Gewichten auf Spritzgießmaschinen im klassischen Spritzguss, bei dem das plastifizierte Material durch einen Einspritzhub der Schnecke oder des Einspritzkolbens in den Formhohlraum gepresst wird, anwendbar, wenn das geforderte Volumen des Spritzgussteiles sehr klein ist im Verhältnis zum Dosiervolumen.

Weitere Merkmale und Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung.

Fig. 1 zeigt den schematischen Aufbau einer Spritzeinheit zum Expansionsspritzgießen, Fig. 2 eine mögliche Korrekturkurve für den Kompressionsenddruck für die aufeinander folgenden Füllungen.

Fig. 3 zeigt ein Versuchsergebnis ohne Korrektur der Einspritzparameter.

Fig. 4 zeigt ein Versuchsergebnis mit Korrektur der Einspritzparameter.

Bei der dargestellten Abbildung in Fig. 1 wird der Kunststoff im Massezylinder 15 durch die Schnecke 5 mit dem Antrieb 7 in dem Schneckenorraum 1 plastifiziert. Dieser Vorraum 1 reicht durch die Bohrungen der Nadelverschlussdüse 12 bis an den Angusskegel des Formhohlraums 4 (Anguss und Kavität). Die vordere Öffnung der Verschlussdüse 12 ist absperierbar. Das Rückströmen der Schmelze aus dem Vorraum 1 wird durch die Rückströmsperre 6 verhindert. Nach dem Dosieren des meist zehn- bis fünfzehnfachen Volumens eines Formlings bzw. Spritzgussteiles in den Vorraum 1 wird die Schmelze, das Hydrauliköl im Spritzzylinder 2 und das Gas im Druckspeicher 3 durch die Hydraulikpumpe 8 auf den Vorspanndruck komprimiert und dann das Wegeventil 10 geschlossen. Der gewünschte Vorspanndruck wird mit dem Druckventil 9 eingestellt und durch Drucksensoren (DS1, DS2, DS3) in der Steuerung 13 registriert. Das Einspritzen in den Werkzeughohlraum 4 erfolgt nach dem Öffnen der Verschlussdüse 12 durch Expansion der komprimierten Stoffe. Die Füllzeit wird durch die Druckdifferenz zwischen Vorraum 1, der Werkzeugkavität 4 und die Fließwiderstände im Werkzeug (der Form) und der Verschlussdüse bestimmt.

Wesentlich für die Erfindung ist, dass nach jeder Füllung die Nadelverschlussdüse 12 geschlossen wird und bei geöffneten Wegeventilen 10, 11, die das Pumpenaggregat 8 mit dem Spritzzylinder 2 und dem Druckspeicher 3 verbinden, der Vorspanndruck korrigiert wird.

Die Fig. 2 zeigt beispielhaft den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Füllungen und dem notwendigen Vorspanndruck im Vorraum 1, damit von Füllung zu Füllung Spritzgussteile innerhalb der geforderten Toleranzen erzeugt werden.

Bei mehrfachem Expansionsspritzgießen ohne Dosieren zwischen den einzelnen Einspritzvorgängen können Spritzgussteile mit einem gegenüber dem aufdosierten Schmelzevolumen im Schneckenorraum geringeren Volumen hergestellt werden. Die Spritzgussteile können in so genannte kleine Teile mit einem Fließweg/Wanddickenverhältnis bis ca. 150 und so genannte Dünnwandteile mit einem Fließweg/Wanddickenverhältnis über 150 (Wanddicken $< 0,5$ mm) eingeteilt werden. Damit bei dem Verfahren eine konstante Qualität der Teile erreicht wird, ist eine Korrektur des Vorspanndruckes (Schmelzedruck im Schneckenorraum vor dem Öffnen der Verschlussdüse) vor jedem Einspritzvorgang bzw. Formfüllvorgang erforderlich.

Vor allem bei den so genannten kleinen Teilen, bei denen ein Fließweg/Wanddickenverhältnis bis ca. 150 und ein Vorspanndruck < 2000 bar vorliegt, bietet sich zur Korrektur der Einspritzparameter die Korrektur des Vorspanndruckes in der Form an, dass der Enddruck nach jeder Füllung den gleichen Wert aufweist. Wichtig für die Qualität, vorzugsweise ein gleich bleibendes Gewicht der hergestellten Teile, ist in diesem Fall also der Enddruck, der nach der vollständigen Füllung der Kavität bzw. des Formhohlraums 4 unmittelbar vor dem Schließen der Verschlussdüse 12 im zu diesem Zeitpunkt miteinander verbundenen System des Formhohlraums 4 und des Schneckenorraums 1 herrscht. Dieser Enddruck sinkt nach dem Schließen der

Verschlussdüse während der Kühlzeit gegen 1 bar. Der Enddruck p_E wird abhängig von der Geometrie des Spritzgussteiles vorgegeben, wie zB auch der Nachdruck beim Spritzgießen, und ist Ausgangspunkt für die Berechnung des Vorspanndruckes p_1 für den ersten Schuss. Für die Berechnung des Vorspanndruckes für den ersten Formfüllvorgang gilt:

$$p_1 = p_E + \frac{V_T}{V_1 \kappa_K + V_m \frac{1}{E}}$$

Dabei ist V_1 das Volumen der Schmelze im Schneckenorraum 1 und im Düsenbereich. V_T das Volumen des Spritzlings (Volumen des Formhohlraums 4 und des Angusses). κ_K ist die mittlere Kompressibilität der Schmelze im Druckbereich zwischen p_1 und p_E . V_m ist ein so genanntes fiktives Volumen der belasteten Maschinenteile. Mit diesem Parameter werden die elastischen Verformungen der Spritzgießmaschine berücksichtigt. Die Berechnung von V_m wird weiter unten erläutert.

Die Berechnung des Vorspanndruckes für jeden folgenden Formfüllgang n erfolgt dann nach:

$$p_n = p_E + \frac{V_T}{[V_1 - (n-1) \cdot V_T] \kappa_K + V_m \frac{1}{E}} \quad \text{für } [n \geq 2]$$

wobei n angibt, um den wievielten Formfüllvorgang seit dem letzten Dosieren es sich handelt. Der Enddruck p_E wird bei dieser Ausgestaltungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens konstant gehalten und wie oben bereits erläutert in Abhängigkeit der Geometrie des Spritzgussteiles vorgegeben.

Bei so genannten Dünnwandteilen, die ein Fließweg/Wandickenverhältnis über 150 aufweisen, liegen die erforderlichen Einspritzdrücke in der Regel im Bereich zwischen 2000 und 3000 bar. Für diese Spritzgussteile bietet sich eine Korrektur der Einspritzparameter bzw. des Vorspanndruckes in der Weise an, dass die gleiche Füllzeit für jeden Füllvorgang erreicht wird. Generell sind für diese Spritzgussteile die erforderlichen Füllzeiten sehr gering, da durch die Abkühlung der Schmelze die entstehende Grenzschicht den Fließquerschnitt im Formhohlraum rasch verengt. Dies führt zu einem sehr hohen Druckbedarf während der Füllung. Bei Spritzgussteilen mit Wandicken von 0,15 bis 0,5 mm liegen die optimalen Füllzeiten im Bereich von 0,02 bis 0,05 sec. Die optimale Füllzeit und der notwendige maximale Fülldruck können in Abhängigkeit der Abmessungen des Spritzgussteils, den physikalischen Parametern des Kunststoffes und den Verarbeitungsbedingungen ermittelt werden. Der berechnete notwendige maximale Fülldruck p_E am Ende des Füllvorgangs entspricht dem Enddruck beim Expansionsspritzgießen. Der notwendige Vorspanndruck p_1 für den ersten Schuss ergibt sich daher wieder zu:

$$p_1 = p_E + \frac{V_T}{V_1 \kappa_K + V_m \frac{1}{E}}$$

Besonders bei Dünnwandteilen ist für die Einhaltung der geforderten Qualitätsgrenzen eine konstante Füllzeit t_F notwendig. Der Enddruck p_E hat wegen der raschen Abkühlung bei Dünnwandteilen eher einen geringeren Einfluss. Die Korrektur des Vorspanndruckes p_n von Formfüllgang zu Formfüllgang bei konstanter Füllzeit wird daher in Abhängigkeit des Vorspanndruckes p_{n-1} beim vorhergehenden Formfüllvorgang nach folgender Formel berechnet:

$$p_n = p_{n-1} + \frac{V_T}{2} \left(\frac{1}{[V_1 - (n-1) \cdot V_T] k_K + \frac{V_m}{E}} - \frac{1}{[V_1 - (n-2) \cdot V_T] k_K + \frac{V_m}{E}} \right) \quad \text{für } [n \geq 2]$$

Durch den Druck p_n werden Teile der Spritzeinheit der Spritzgussmaschine elastisch verformt, wodurch das Volumen des Schneckenorraums 1 vergrößert wird. Verformt werden zB die Schnecke und der Massezylinder der Spritzeinheit. In den obigen Formeln ist diese Volumensvergrößerung durch die elastischen Verformungen der Spritzeinheit in Form des fiktiven Volumens V_m berücksichtigt. Bei hydraulischen Systemen mit Druckspeicher müssen im fiktiven Volumen V_m auch die elastischen Verformungen des Hydraulikzylinders, die Kompressibilität des Hydrauliköles und des Druckgases bei den Berechnungen berücksichtigt werden. All diese Einflussfaktoren können unter Berücksichtigung der elastischen Eigenschaften der beteiligten Bauteile berechnet werden. Das gesamte in den obigen Formeln zu berücksichtigende fiktive Volumen V_m ergibt sich aus Summe der für die einzelnen Bauteile errechneten fiktiven Teilvolumina. In der Praxis reicht es dabei aus, nur die wichtigsten Deformationen von Bauteilen zu berücksichtigen, was - wenn nötig - durch Versuchsreihen herausgefunden werden kann. Für eine so genannte elektrische Maschine reicht es dabei zB aus, die elastischen Verformungen der Schnecke, die Verlängerung des Massezylinders und die Dehnung der Antriebsspindeln für den Schneckenanschub zu berücksichtigen. Die Aufweitung des Massezylinders unter dem Einspritzdruck kann in der Regel in Folge der großen Wanddicke vernachlässigt werden. Das für die elastische Verformung der Schnecke charakteristische fiktive Teilvolumen V_{ms} kann wie folgt hergeleitet und berechnet werden:

Die durch den Druck p im Schneckenorraum 1 auf die Schnecke wirkende Kraft F_s errechnet sich aus der Gesamtquerschnittsfläche der Schnecke A_s multipliziert mit dem Druck p gemäß

$$F_s = A_s \cdot p$$

Die auf die Schnecke wirkende Normalspannung σ berechnet sich dann aus

$$\sigma = F_s / A_{sm} = (A_s / A_{sm}) \cdot p$$

wobei A_{sm} der mittlere, für die Spannungsaufnahme in der Schnecke repräsentative Schneckenquerschnitt ist. Gemäß dem Hooke'schen Gesetz gilt andererseits für den elastischen Bereich, dass die Normalspannung σ gleich dem Produkt aus relativer Längenänderung $\Delta L / L$ und Elastizitätsmodul E ist

$$\sigma = (\Delta L / L) \cdot E.$$

ΔL ist dabei die auftretende Längenänderung der Schnecke. L ist die Länge der Schnecke ohne Belastung. Die Schneckenverkürzung ΔL berechnet sich damit aus

$$\Delta L = (A_s / A_{sm}) \cdot L \cdot (1/E) \cdot p$$

Die dadurch hervorgerufene Volumenänderung ΔV_s der Schnecke ergibt sich aus dem Produkt $A_s \cdot \Delta L$. Diese Volumenänderung kann andererseits aber auch dem Produkt des fiktiven Volumens V_{ms} für die Schnecke mit dem Kehrwert des Elastizitätsmoduls E der Schnecke und dem Druck p gleichgesetzt werden. Hieraus ergibt sich

$$\Delta V_s = (A_s^2 / A_{sm}) \cdot L \cdot (1/E) \cdot p = V_{ms} \cdot (1/E) \cdot p$$

Damit lässt sich das fiktive Teilvolumen V_{ms} für die Schnecke berechnen aus:

$$V_{ms} = (A_s^2 / A_{sm}) \cdot L_s$$

In analoger Weise lässt sich die Berechnungsformel für das fiktive Teilvolumen V_{mz} für die Verlängerung des Massezylinders herleiten. Hier ist allerdings statt des mittleren Schneckenquerschnitts A_{sm} die ringförmige Querschnittsfläche A_z der Wandung des Massezylinders als die Spannung aufnehmende Fläche zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist natürlich in die unten genannte Formel auch der Elastizitätsmodul des Materials des Massezylinders und die Länge des Massezylinders L einzusetzen. Unter Berücksichtigung dessen berechnet sich das fiktive Teilvolumen V_{mz} zur Berücksichtigung der Verlängerung des Massezylinders zu:

$$V_{mz} = (A_s^2 / A_z) * L$$

Analog berechnet sich auch das für die Verformung der Antriebsspindeln für den Schnecken-vorschub repräsentative fiktive Teilvolumen V_{msp} zu

$$V_{msp} = (A_s^2 / A_{sp}) * L$$

wobei L die Länge der Antriebsspindeln und A_{sp} deren Gesamtquerschnittsfläche ist. Das gesamte fiktive Volumen V_m berechnet sich dann aus

$$V_m = V_{ms} + V_{mz} + V_{msp}$$

Die Erfahrung zeigt, dass es bei vollelektrisch angetriebenen Spritzgießmaschinen ausreicht, die genannten fiktiven Teilvolumina zu berücksichtigen. Es obliegt dem Fachmann im Zuge von Versuchen, zu überprüfen, ob diese Vereinfachung bei der jeweils verwendeten Spritzgießeinrichtungen zulässig ist oder ob in analoger Weise zu der obigen Berechnung weitere elastische Verformungen der Spritzeinheit oder anderer Bauteile oder Fluide, wie zB von Hydrauliköl, berücksichtigt werden müssen.

Zur Demonstration der Auswirkungen des erfindungsgemäßen Vorgehens werden in den Fig. 3 und 4 das Mehrfachspritzgießen mit und ohne Korrektur des Vorspanndrucks gegenübergestellt. Bei beiden Versuchsreihen wurde nach dem Expansionsspritzgussverfahren vorgegangen. Es wurde jeweils Scheckkarten in der Größe 85 mm * 54 mm * 0,5 mm mit einem Volumen von 2,295 cm³ aus dem Material PS 143 E der Firma BASF spritzgegossen. Verwendet wurde dabei eine vollelektrische Spritzgießmaschine vom Typ Engel Typ E-300/100 mit einem Schneckendurchmesser von 30 mm. Als Form wurde ein Einfachwerkzeug mit Punktanguss und eine pneumatisch gesteuerte Verschlussdüse verwendet. Das Fließweg/Wanddickenverhältnis entsprach 150. Es wurden jeweils sieben Scheckkarten spritzgegossen, ohne dass dazwischen ein Dosieren von plastifiziertem Material in den Schneckenorraum 1 erfolgte. Dargestellt sind in den Fig. 3 und 4 jeweils die Verläufe des Vorspanndrucks p_n , des Enddruckes p_E und des angussnahe gemessenen Forminnendrucks p_F in Abhängigkeit der Formfüllvorgänge n (mit $n = 1$ bis 7). Bei der in Fig. 3 dargestellten Versuchsreihe wurde keine Korrektur des Vorspanndrucks p_n vorgenommen. Dieser wurde bei allen sieben Füllvorgängen konstant auf 1400 bar gehalten. Sowohl der Enddruck p_E als auch der Forminnendruck p_F nahmen ohne die Korrektur von Formfüllvorgang zu Formfüllvorgang jeweils ab. Infolgedessen verminderte sich das Gewicht der jeweils hergestellten Scheckkarte von anfänglich 2,450 g auf 2,381 g beim siebten Formfüllvorgang. Diese deutliche Gewichtsverminderung zeigt einen nicht zu vernachlässigenden Qualitätsverlust im Laufe der Formfüllvorgänge, der durch die fehlende Korrektur der Einspritzparameter hervorgerufen ist.

Bei dem in Fig. 4 dargestellten Versuchsverlauf wurde der Vorspanndruck p_n im Vorraum 1 gemäß oben angegebenen Formeln so korrigiert, dass der Enddruck p_E nach jeder Füllung praktisch konstant war. Dies ist in Fig. 4 am Verlauf von p_E gut zu erkennen. Gemäß oben angegebener Formel wurde der Vorspanndruck p_n von anfänglich 1400 bar auf 1520 bar beim siebten Formfüllvorgang erhöht. Der Verlauf des Gewichts der hergestellten Scheckkarten über die sieben Formfüllvorgänge zeigt den Erfolg des erfindungsgemäßen Verfahrens. Das Gewicht der hergestellten Scheckkarten schwankte lediglich zwischen 2,437 und 2,446 g, was eine sehr

gleich bleibende Qualität bedeutet. Auch bei einer Mehrfachdurchführung des in Fig. 4 im Ergebnis dargestellten Versuchs mit Dosierungen nach jeweils sieben Formfüllvorgängen bestätigten sich die in Fig. 4 dargestellten Ergebnisse.

5

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Spritzgießen, bei dem Kunststoffschmelze mindestens zweimal, vorzugsweise mehrmals, aus einem Vorraum in einen Formhohlraum gespritzt wird und diesen unter Druck füllt, ohne dass dazwischen ein Dosieren erfolgt, *dadurch gekennzeichnet*, dass bei jedem Formfüllvorgang durch eine Korrektur eines Vorspanndrucks das Gewicht der Spritzgussteile konstant gehalten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Vorspanndruck im Vorraum (1) so korrigiert wird, dass der Enddruck nach jeder Füllung den gleichen Wert aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Vorspanndruck im Vorraum (1) so korrigiert wird, dass die gleiche Füllzeit für jeden Füllvorgang erreicht wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass vor jedem Formfüllvorgang das Volumen des Vorraums (1) und der darin herrschende Druck Werte aufweisen, die zur vollständigen Füllung des Formhohlraumes (4) durch Expansion der Kunststoffschmelze ausreichen.

25

Hiezu 4 Blatt Zeichnungen

30

35

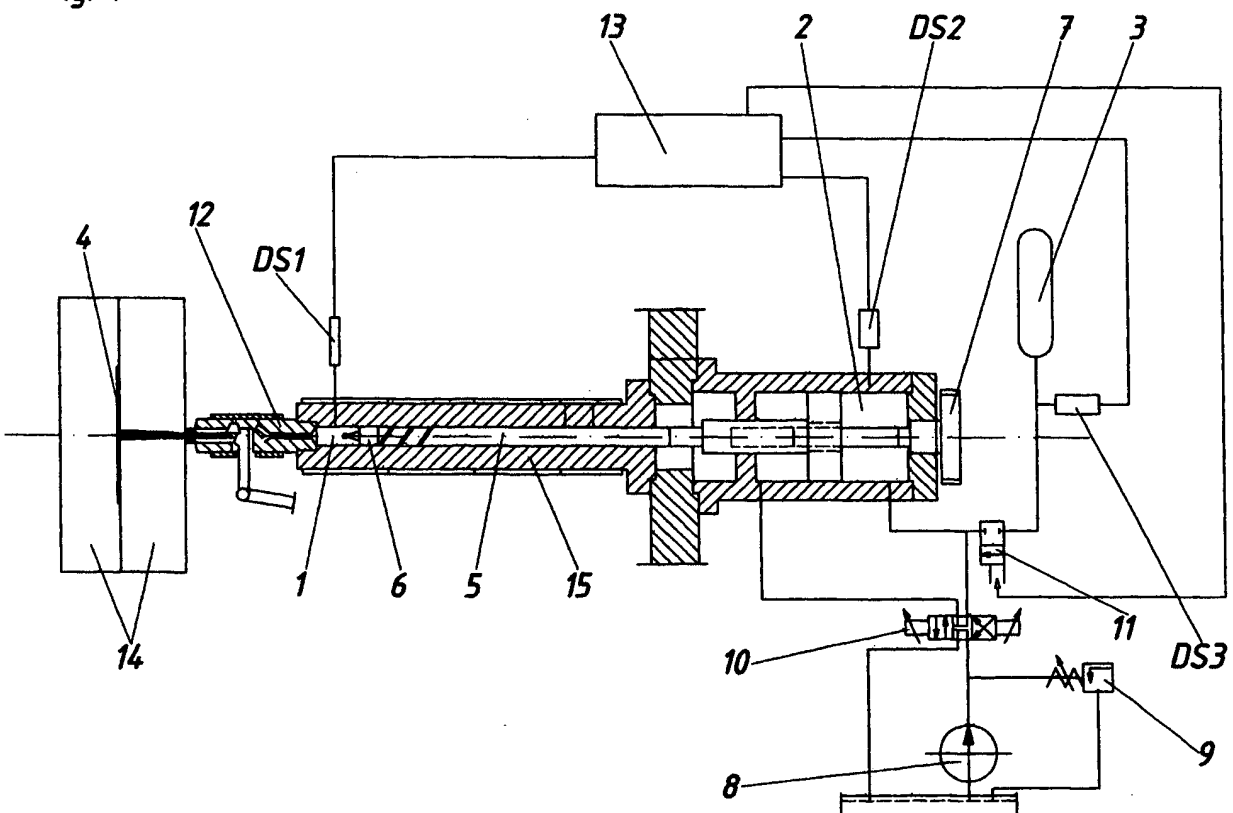
40

45

50

55

Fig. 1





österreichisches
patentamt

Blatt: 2

Int. Cl.⁸: B29C 45/77 (2006.01)
B29C 45/46 (2006.01)

AT 501 849 B1 2007-01-15

Fig. 2

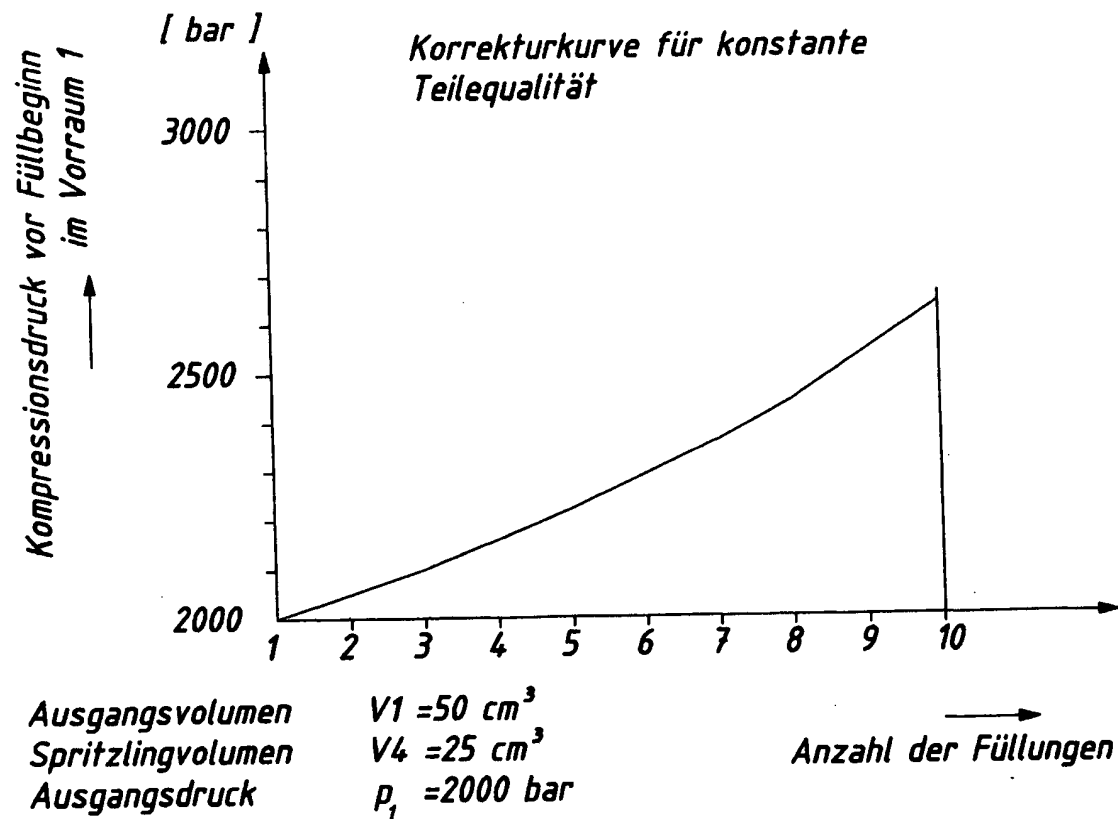




Fig. 3

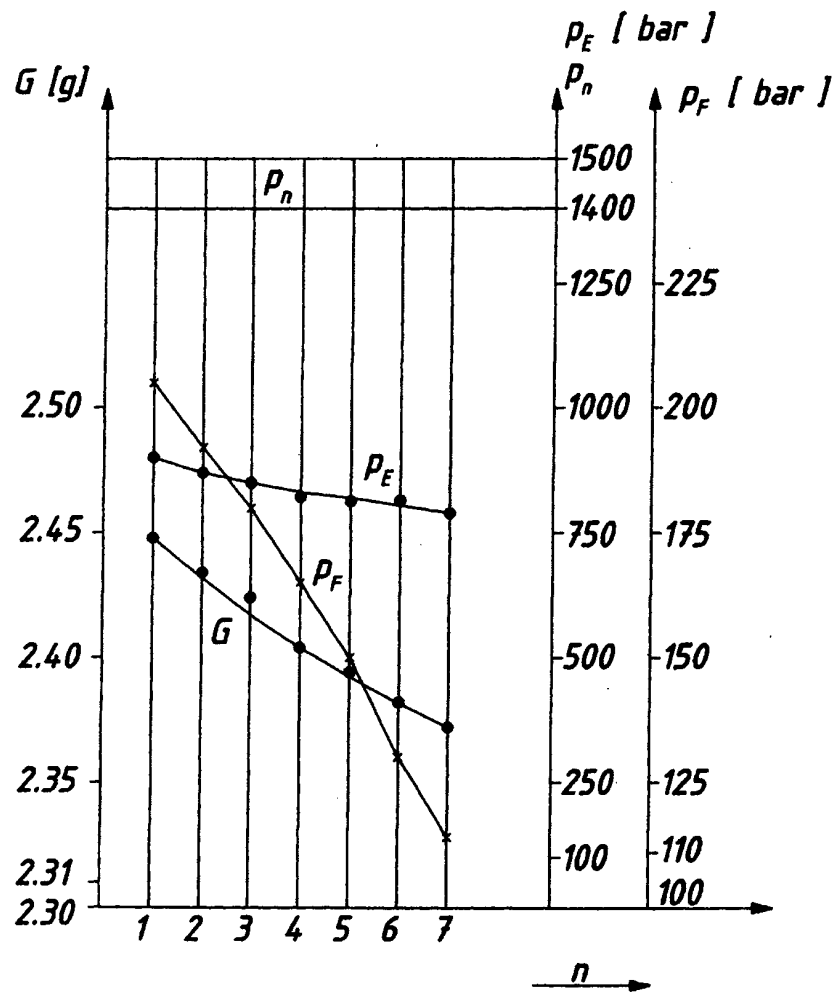




Fig. 4

