



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 29 533 T2** 2004.11.11

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 844 057 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 29 533.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP97/01229**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 915 694.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 97/037823**

(86) PCT-Anmeldetag: **10.04.1997**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **16.10.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.05.1998**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **16.06.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.11.2004**

(51) Int Cl.7: **B29C 33/38**

B29C 49/48, B29C 37/00

(30) Unionspriorität:

8969096 **11.04.1996** **JP**

570897 **16.01.1997** **JP**

(73) Patentinhaber:

Kao Corp., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:

U. Knoblauch und Kollegen, 60322 Frankfurt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(72) Erfinder:

NISHIMINE, Naohide, Hagagun, Tochigi 321-34, JP; TORII, Hisanori, Tokyo 131, JP; OJI, Nobunori, Hagagun, Tochigi 321-34, JP; SUGAI, Keiichiro, Hagagun, Tochigi 321-34, JP; TAMIYA, Yuko, Hagagun, Tochigi 321-34, JP

(54) Bezeichnung: **FORMWERZEUGDESIGN, VERFAHREN UND VORRICHTUNG**

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] Die Erfindung wird zum Entwerfen von Metall-Formwerkzeugen für Kunststoffserzeugnisse angewandt. Sie betrifft eine Technik zum Verkürzen der Zeit, die für den Kunststoff-Formungsprozeß erforderlich ist, und zwar durch Herausnehmen des Kunststoff-Formstücks aus dem Metall-Formwerkzeug bei einer hohen Temperatur, nachdem durch den Entwurf der Form des Metall-Formwerkzeugs eine Verformung berücksichtigt worden ist, die auftritt, wenn das Formstück nach der Entformung abkühlt.

Hintergrundtechnologie

[0002] Ein weitverbreitetes Verfahren zum Formen von Kunststoff ist das Extrudieren von geschmolzenem Kunststoff bei hoher Temperatur in Rohrform, deren Anordnung in einem Metall-Formwerkzeug und das Expandieren des Rohres durch Einblasen von Luft in das Rohr. Ein bekanntes Beispiel dafür wird anhand von **Fig. 10** erläutert, die das Verfahren der Herstellung eines Behälters durch Blasformen darstellt. Nach **Fig. 10(a)** wird geschmolzener Kunststoff in Rohrform (der Kölbel) in die Mitte eines zweiteiligen Metall-Formwerkzeugs extrudiert, und dann wird das Metall-Formwerkzeug gemäß **Fig. 10(b)** geschlossen. Nach **Fig. 10(c)** wird in den geschmolzenen Kunststoff Luft geblasen, so daß der Kunststoff eng an der Innenseite des Metall-Formwerkzeugs haftet und die gleiche Form wie die Innenwand annimmt. In diesem Zeitpunkt hat der geschmolzene Kunststoff eine hohe Temperatur von Beispielsweise 200 C, wonach er abgekühlt und verfestigt wird, indem er in dem Metall-Formwerkzeug belassen und weiterhin Luft unter hohem Druck eingeblasen wird. Obwohl die Dauer dieser Abkühlung von der Kunststoffart und der Form des Formwerkzeugs abhängt, hat man bislang die Kühldauer nach der Temperatur ermittelt, bei der die Verformung aufgrund der thermischen Schrumpfung des Kunststoffs nach der Entformung aus dem Metall-Formwerkzeug linear ist. Wenn das Metall-Formwerkzeug nach **Fig. 10(d)** geöffnet wird, wird das Formstück entnommen.

[0003] Das in **Fig. 10** dargestellte Formstück ist ein Behälter (eine Flasche), der nach dem F llen mit einer Flüssigkeit vertrieben wird. Das übliche Ziel ist, das Metall-Formwerkzeug zu  ffnen, wenn sich der Kunststoff auf etwa 50 C abgekühlt hat. Diese Abkühlung dauert etwa 12 Sekunden.

[0004] Wie schon gesagt, braucht es Zeit, um den eine hohe Temperatur aufweisenden geschmolzenen Kunststoff so weit abzukühlen, daß das Metall-Formwerkzeug geöffnet werden kann. Die Herstellungsdauer pro Formstück und die Herstellungskosten sind einander proportional, und bei einem Herstellungsverfahren, bei dem Sekunden eine Rolle spielen, sollte auch eine kurze Abkühlzeit von etwa 12 Sekunden verkürzt werden, um die Herstellungskosten zu verringern. Um Daten bezüglich der kürzesten praktikablen Abkühldauer zu ermitteln, haben die Erfinder daher wiederholt Versuche ausgeführt, bei denen ein Metall-Formwerkzeug bereits geöffnet wurde, während es noch eine hohe Temperatur hatte. Dabei hat man festgestellt, daß, wenn ein Metall-Formwerkzeug vor Ablauf der üblicherweise eingehaltenen Abkühldauer geöffnet wurde, sich der eine hohe Temperatur aufweisende geschmolzene Kunststoff stark zusammenzieht und nichtlinear verformt. Daher konnte die gewünschte Form des Formstücks, die Ziel-Formstückform, nicht erzielt und die Abkühldauer nicht verkürzt werden.

[0005] Ein durch dieses Blasformen hergestellter Behälter wird nach der Abkühlung mit einem Etikett beklebt. Es ist aber auch üblich, das Etikett während des Formverfahrens anzukleben. Dieses Verfahren wird allgemein "Im-Formwerkzeug-Etikettierung" (in-mold labelling) genannt.

[0006] Bei der Im-Formwerkzeug-Etikettierung wird ein aus Kunststoff hergestelltes Etikett an der Innenseite des Metall-Formwerkzeugs vor dem Formen angebracht und bei dem Formungsprozeß durch die Hitze des geschmolzenen Kunststoffs mit dem Behälter einstückig verschmolzen.

[0007] Bei der Im-Formwerkzeug-Etikettierung werden zwei verschiedene, sich überdeckende Materialien geformt, so daß es schwieriger ist, die Verformungen vorherzusagen, die durch die verschiedenen Wärme-schrumpfungsgeschwindigkeiten der Materialien verursacht werden, als es bei einem Behälter ohne Im-Formwerkzeug-Etikettierung der Fall ist.

[0008] Bei einem bekannten Verfahren zur Herstellung eines Behälters mit einer Im-Formwerkzeug-Etikettierung ist ein Verfahren zum Ausgleichen von Verformungen vorgeschlagen worden, das darauf beruht, daß die Etikettvorderseite sehr dünn ist und sehr rasch abkühlt, weil es mit dem Metall-Formwerkzeug in Berührung kommt, so daß es an der Beh lterseite stärker als an der Etikettvorderseite schrumpft, nachdem es aus dem

Metall-Formwerkzeug entnommen wurde, und daß die Außenseite des Etiketts sich zur Außenseite des Behälters hin verformt (anschwillt).

[0009] Die Verformung der Vorderseite eines Etiketts braucht jedoch nicht nur von den unterschiedlichen Schrumpfungsgeschwindigkeiten des Etikettmaterials und des Behältermaterials abzuhängen. Beispielsweise unterliegt die Vorderseite des Etiketts nicht nur der Schrumpfung des Behälters, sondern auch der Druckbelastung aus mehr als einer Richtung parallel zur Vorderseite des Etiketts. Infolgedessen verformt sich die Vorderseite des Etiketts nicht immer (durch Anschwellen) zur Außenseite des Behälters hin.

[0010] Mit anderen Worten, die Vorderseite des Etiketts schwillt durch den Biegungeffekt, der durch die Temperaturdifferenz in Richtung der Dicke des Kunststoffes verursacht wird, nach außen (verformt sich zur Außenseite hin). Die Vorderseite des Etiketts kollabiert (verformt sich nach innen) durch die Schrumpfungsdifferenz in Umgebungsrichtung, die durch die Dickenverteilung in Richtung der Höhe der Flasche verursacht wird. Die Vorderseite des Etiketts kann in Abhängigkeit vom Anfangszustand des Behälters durch die Schrumpfungsdifferenz des Etikettmaterials und des Behältermaterials kollabieren oder nach außen anschwellen.

[0011] "Injection Moulds", Seiten 41 bis 43, 1980, VDI-Verlag, offenbart eine Anzahl von Schrumpfungsfaktoren für verschiedene Materialien bei Formungsprozessen.

[0012] JP-A-7186228 offenbart ein Verfahren zum Vorhersagen der Verwerfung und Verformung eines Spritzguß-Formstücks mit hoher Genauigkeit durch Berechnung eines Schrumpfungsfaktors nach einem Finite-Elemente-Verfahren (Methode der endlichen Elemente).

[0013] JP-A-7112481 beschreibt die Anwendung einer Finite-Elemente-Formung unter Vorhersage des Verhaltens des Materials in einem Formwerkzeug als Teil eines Blasformverfahrens.

[0014] Die Erfindung ist im Lichte dieses Hintergrunds gemacht worden. Es ist ein Ziel dieser Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs anzugeben, bei dem bzw. der eine Ziel-Formstückform ermittelt werden kann, selbst wenn die Abkühldauer bei dem Kunststoff-Formungsprozeß verkürzt ist. Ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs anzugeben, durch das bzw. die ein Formstück mit einer Form hergestellt werden kann, die die Verformung infolge des hydrostatischen Drucks ausgleicht, der daraus resultiert, daß das Formstück mit Inhalt gefüllt wird. Noch ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formstücks anzugeben, durch das bzw. die das Metall-Formwerkzeug ohne frühere Erfahrung entworfen werden kann.

[0015] Aus einem Metall-Formwerkzeug herausgenommener Kunststoff unterliegt einer Schrumpfungs-Verformung bei der Abkühlung auf Normaltemperatur. Üblicherweise gewährleistet das Entformen von Kunststoff bei niedrigerer Temperatur eine Regelmäßigkeit in der resultierenden Verformung, d. h. die Verformung ist linear, und mithin ist durch Gewährleistung, daß der Kehrwert des Schrumpfungsfaktors ($1/\text{Schrumpfungsfaktor}$) sich in der Ziel-Formstückform widerspiegelt, und durch Herstellung eines entsprechend größeren Metall-Formstücks die Herstellbarkeit der Ziel-Formstückform (d. h. ihre Entwurfsabmessung) garantiert. Die erwähnte Regelmäßigkeit tritt jedoch bei der nichtlinearen Schrumpfung, die bei der Entformung eines Kunststoff-Formstücks bei hoher Temperatur auftritt, nicht auf.

[0016] Die Erfinder haben daher ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs erfunden, durch das die Ziel-Formstückform erzielt wird, selbst wenn das Formstück bei hoher Temperatur entformt wird. Dies wird durch die Anwendung des Finite-Elemente-Verfahrens zur Simulation des Verformungsverhaltens erreicht, wobei dann diese Verformung von vornherein bei der Herstellung der Metall-Formwerkzeugform berücksichtigt wird.

[0017] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht sie in einem Verfahren zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs für einen Blasform-Prozeß, das aufweist: einen ersten Schritt des Simulierens der Verformung unter Anwendung eines Finite-Elemente-Verfahrens, die in einer Anfangsform eines blasgeformten Formstücks (seine Form unmittelbar vor dem Herausnehmen aus dem Metall-Formwerkzeug) auftritt, nachdem es aus dem Metall-Formwerkzeug bei einer Temperatur herausgenommen worden ist, bei der es sich nichtlinear verformt, wobei das Finite-Elemente-Verfahren aufweist: das Einstellen des thermischen Expansionskoeffizienten, des Young-Moduls, des Poisson-Verhältnisses, der thermischen Leitfähigkeit, der spezifischen Wärme und der Dichte des Formstück-Materials; einen zweiten Schritt des Berechnens der Differenz zwischen der verformten Form, die man bei diesem ersten Schritt erhalten hat, und einer Ziel-Formstückform;

einen dritten Schritt des Vergleichens dieser Differenz mit einem Schwellwert; und einen vierten Schritt, worin, falls diese Differenz diesen Schwellwert überschreitet, eine Veränderung in der oben erwähnten Anfangsform auf der Basis dieser Differenz berechnet wird.

[0018] In einigen Fällen ist es vorzuziehen, daß ein Etikett mit Lösungsmittel auf einen Teil der Oberfläche des oben erwähnten Formstücks geklebt wird, wobei dieses Etikett aus einem anderen Material als das Hauptmaterial besteht, aus dem die Formstückoberfläche gebildet wird; und der oben erwähnte erste Schritt aufweist: die Simulation der Verformung nach dem Hinzufügen von Parametern, die sich auf das Material dieses Etiketts beziehen, wobei diese Parameter mindestens seine thermische Leitfähigkeit und seinen Linear-Ausdehnungskoeffizienten aufweisen.

[0019] Die Ziel-Formstückform kann so entworfen sein, daß sie nicht die Verformung aufweist, die auf den inneren Druck zurückzuführen ist, der erzeugt wird, wenn das Formstück mit Inhalt gefüllt ist.

[0020] Alternativ kann sie so entworfen werden, daß sie die Verformung aufweist, die auf den inneren Druck zurückzuführen ist, der erzeugt wird, wenn das Formstück mit Inhalt gefüllt ist.

[0021] Wenn das Formstück beispielsweise ein Kunststoffbehälter ist, der mit einer Flüssigkeit gefüllt werden soll, verformt sich der Kunststoffbehälter, wenn er mit der Flüssigkeit gefüllt wird. Das Metall-Formwerkzeug kann so entworfen werden, daß diese Verformung von vornherein berücksichtigt wird.

[0022] Die Simulation basiert auf dem Finite-Elemente-Verfahren. (Bezüglich des Verfahrens oder der Methode der endlichen Elemente siehe "Denshi Joho Tsushin Handobukku" [Handbook of Electronics, Information and Communications] herausgegeben von der IEICE Japan, Seiten 36–37.)

[0023] Bislang wurde das Metall-Formwerkzeug einfach nach dem Verfahren von "Versuch und Irrtum" oder nach der Erfahrung des Handwerkers entworfen. Durch die Anwendung des Finite-Elemente-Verfahrens können die Anzahl von Fehlversuchen beim Entwerfen von Metall-Formwerkzeugen verringert und Formwerkzeuge ohne Berücksichtigung früherer Erfahrungen entworfen werden.

[0024] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht diese in einer Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs für einen Blasform-Prozeß, wobei die Vorrichtung aufweist: Mittel zum Eingeben der Anfangsform des Metall-Formwerkzeugs (b_0) in Form dreidimensionaler Informationen; und die folgenden vier Mittel: ein erstes Mittel zum Berechnen einer Simulation der Verformung unter Anwendung eines Finite-Elemente-Verfahrens, die auftritt, nachdem ein blasgeformtes Formstück mit gleicher Form wie die Anfangsform aus dem Metall-Formwerkzeug bei einer Temperatur herausgenommen worden ist, bei der es sich nichtlinear deformiert, wobei die ersten Mittel aufweisen: Mittel zum Einstellen des thermischen Expansionskoeffizienten, des Young-Moduls, des Poisson-Verhältnisses, der thermischen Leitfähigkeit, der spezifischen Wärme und der Dichte des Formstück-Materials; ein zweites Mittel zum Berechnen der Differenz (ξ) zwischen dem Berechnungsergebnis für die simulierte Verformung (c_i) und einer Ziel-Formstückform; ein drittes Mittel zum Vergleichen dieser Differenz mit einem Schwellwert; und ein viertes Mittel, das, wenn die Differenz den Schwellwert (t) übersteigt, die oben erwähnte Anfangsform auf der Basis dieser Differenz ändert; und ein Mittel, das bewirkt, daß die oben genannten ersten bis vierten Mittel wiederholt arbeiten, bis die oben genannte Differenz kleiner als der Schwellwert wird.

[0025] In einigen Fällen ist es vorzuziehen, daß ein Etikett mit Lösungsmittel auf einen Teil der Oberfläche des oben erwähnten Formstücks geklebt wird, wobei dieses Etikett aus einem anderen Material als das Material besteht, aus dem die Formstückoberfläche gebildet ist; und die oben erwähnten ersten Mittel die Verformung nach dem Hinzufügen von Parametern simulieren, die sich auf das Material dieses Etiketts beziehen, wobei diese Parameter zumindest seine thermische Leitfähigkeit und seinen Linear-Ausdehnungskoeffizienten aufweisen.

[0026] Die Ziel-Formstückform kann nicht die Verformung aufweisen, die auf den inneren Druck zurückzuführen ist, der erzeugt wird, wenn das Formstück mit Inhalt gefüllt wird. Alternativ kann die Ziel-Formstückform die Verformung aufweisen, die auf den inneren Druck zurückzuführen ist, der erzeugt wird, wenn das Formstück mit Inhalt gefüllt ist.

[0027] Gemäß einem dritten Aspekt besteht die vorliegende Erfindung in einem maschinenlesbaren Aufzeichnungsmedium, auf dem ein Programm aufgezeichnet ist, das das Arbeiten jedes der erwähnten Mittel bewirkt.

[0028] Wie vorstehend erklärt wurde, kann nach der Erfindung ein Metall-Formwerkzeug so entworfen werden, daß eine Ziel-Werkstückform trotz einer Verkürzung der Kühldauer erzielt wird. Sie ermöglicht auch das Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs derart, daß das geformte Erzeugnis eine Form aufweist, die die Verformung ausgleicht, die durch den hydrostatischen Druck bewirkt wird, der auftritt, wenn das Formstück mit Inhalt gefüllt wird. Außerdem ermöglicht die Erfindung das Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs unabhängig von einer früheren Erfahrung. Wie bei einem im Formwerkzeug etikettierten Behälter kann nach der Erfindung ein Metall-Formwerkzeug entworfen werden, bei dem eine Ziel-Werkstückform erzielt werden kann, auch wenn die Kühldauer verkürzt worden ist.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0029] **Fig. 1** stellt ein Ablaufdiagramm des Entwerfens eines Metall-Formwerkzeugs gemäß einer Ausführungsform der Erfindung dar.

[0030] **Fig. 2** stellt ein Finite-Elemente-Modell einer Flasche dar.

[0031] **Fig. 3** dient zur Erläuterung des Finite-Elemente-Verfahrens.

[0032] **Fig. 4** ist ein Ablaufdiagramm des Entwerfens eines Metall-Formwerkzeugs gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung.

[0033] **Fig. 5** ist ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Ausführungsform einer Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs.

[0034] **Fig. 6** stellt eine im Formwerkzeug etikettierte Flasche dar.

[0035] **Fig. 7** stellt die Kunststoffstruktur und Parameter eines Behälters dar, bei dem kein Etikett im Formwerkzeug angebracht wird.

[0036] **Fig. 8** stellt die Kunststoffstruktur und Parameter des Teils eines im Formwerkzeug mit einem Etikett versehenen Behälters dar.

[0037] **Fig. 9** vergleicht die simulierte Verformung durch thermische Schrumpfung mit Meßwerten von Formstücken.

[0038] **Fig. 10** veranschaulicht das Verfahren zur Herstellung eines Waschmittelbehälters durch Blasformen.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung

[0039] Nachstehend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der **Fig. 1** beschrieben, die ein Ablaufdiagramm einer speziellen Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs darstellt.

[0040] Die Erfindung ist ein Metall-Formwerkzeug-Entwurfsverfahren, das aufweist: einen ersten Schritt (S1), bei dem eine Verformung simuliert wird, die in einer Anfangsform eines Formstücks (d. h., seine Form unmittelbar vor dem Herausnehmen aus dem Metall-Formwerkzeug) auftritt, nachdem es aus dem Metall-Formwerkzeug herausgenommen worden ist; einen zweiten Schritt (S2), bei dem die Differenz zwischen der verformten Form, die man bei dem ersten Schritt erhalten hat, und einer Ziel-Formstückform berechnet wird; einen dritten Schritt (S3), bei dem die Differenz mit einem Schwellwert verglichen wird; und einen vierten Schritt (S4), bei dem, wenn diese Differenz den Schwellwert überschreitet, eine Veränderung der Anfangsform auf der Basis dieser Differenz berechnet wird.

[0041] Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Metall-Formwerkzeug-Entwicklungsverfahrens ist in **Fig. 5** als Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Ausführungsform dargestellt.

[0042] Diese Vorrichtung hat eine Tastatur **6** als Mittel zur Eingabe der Anfangsform des Metall-Formwerkzeugs (b0) in Form dreidimensionaler Informationen; eine Verformungsimulations-Recheneinheit als erstes Mittel, das eine Simulation der Verformung berechnet, die auftritt, nachdem ein Formstück mit gleicher Form wie die Anfangsform aus dem Metall-Formwerkzeug herausgenommen worden ist; eine Differenzberechnungseinheit **2** als das zweite Mittel, das die Differenz zwischen dem Berechnungsergebnis für die simulierte

Verformung und einer Ziel-Formstückform berechnet; eine Differenzentscheidungseinheit **3** als das dritte Mittel, das die Differenz mit einem Schwellwert vergleicht; eine Anfangsformänderungseinheit **4** als das vierte Mittel, das, wenn die Differenz den Schwellwert überschreitet, einen Teil der Anfangsform auf der Basis dieser Differenz ändert; und eine arithmetische Steuerung **5** als Mittel, das bewirkt, daß die Verformungssimulationsrechenereinheit **1**, die Differenzberechnungseinheit **2**, die Differenzentscheidungseinheit **3** und die Anfangsformänderungseinheit **4** so lange wiederholt arbeiten, bis die erwähnte Differenz kleiner als der Schwellwert wird.

[0043] In Ausführungsformen dieser Erfindung werden diese Rechnungen bzw. Berechnungen nach dem Finite-Elemente-Verfahren (FEV) (auch "Methode der endlichen Elemente" oder "Methode der finiten Elemente" genannt) ausgeführt. Das Finite-Elemente-Verfahren wird nachstehend kurz anhand von **Fig. 2** und **Fig. 3** erläutert. **Fig. 2** stellt ein Finite-Elemente-Modell einer Flasche dar, während **Fig. 3** zur Erläuterung des Finite-Elemente-Verfahrens dient. Wie **Fig. 2** zeigt, wird ein Behälter (d. h. eine Form), der Gegenstand der Verformungssimulation sein soll, durch ein Gitter dreieckiger oder viereckiger Elemente niedriger Ordnung angenähert. Wie **Fig. 3a** zeigt, hat ein Element Knoten $\{(x_{ni}, y_{nk}, z_{ni}), i = 1 \text{ bis } 4\}$. Wenn eine Verformung simuliert wird, wird aus den Knotenkoordinaten des Elements nach der Verformung $\{x_{di}, y_{di}, z_{di}, i = 1 \text{ bis } 4\}$, wie es in **Fig. 3b** dargestellt ist. Wie **Fig. 3c** zeigt, kann die Verformung eines Elements durch Bildung der Differenz $\{(x_{si}, y_{si}, z_{si}), i = 1 \text{ bis } 4\}$ zwischen den Knotenkoordinaten vor der Verformung (x_{ni}, y_{ni}, z_{ni}) und den Knotenkoordinaten nach der Verformung (x_{di}, y_{di}, z_{di}) ermittelt werden. Das Finite-Elemente-Verfahren wird in ähnlicher Weise zur Ermittlung der Verformung aller Elemente des in **Fig. 2** dargestellten Modells angewandt, wodurch der verformte Zustand des gesamten Behälters ermittelt wird. Die endgültige zu entwerfende Form wird durch wiederholte Ausführung der Verformungssimulation ermittelt, wobei die Entwurfform vor der Verformung jedesmal etwas mehr verändert wird, so daß die Form nach der Verformung sich der Ziel-Werkstückform annähert.

Erste Ausführungsform

[0044] Eine erste Ausführungsform der Erfindung wird nachstehend anhand der in **Fig. 2** als Beispiel dargestellten Flasche erläutert. Wenn die Entformungstemperatur niedrig ist, d. h. wenn nur eine sehr geringe Verformung auftritt (und die Verformung linear ist), dann läßt sich die Metall-Formwerkzeugform, die die Ziel-Werkstückform bestimmt, wenn die Schrumpfungsverformung des Kunststoffes, der aus dem Metall-Formwerkzeug entnommen wurde, abgeschlossen ist, dadurch ermitteln, daß die Ziel-Werkstückform mit dem Kehrwert des Verformungsverhältnisses multipliziert wird. Dieses Verfahren kann jedoch nicht angewandt werden, wenn die Entformungstemperatur hoch ist, d. h., wenn die thermische Schrumpfung groß und nicht linear ist.

[0045] Die Erfinder haben daher wiederholt die thermische Verformung simuliert, die bei der Anfangsform eines Werkstücks auftritt (d. h. diejenige Form, die durch die Entwurfsform der Metall-Formwerkzeugform bestimmt wird), und sorgten dafür, daß eine Differenz zwischen diesem Simulationsergebnis und der Ziel-Werkstückform durch die Metall-Formwerkzeugentwurfsform wiedergegeben wird, und wiederholten dieses Verfahren so lange, bis eine Konvergenz an die Ziel-Werkstückform auftrat. Dabei berücksichtigten sie auch die Nichtlinearität der Verformung und führten zur Stabilisierung der Konvergenz einen Verlangsamungskoeffizienten zur Einstellung der Differenz ein, die in der Metall-Formwerkzeugentwurfsform wiedergegeben wird. Damit dieses Verfahren effektiv ist, müssen der Betrag der Verformung und der nach der auf dem FEV basierenden Verformungssimulation berechnete verformte Zustand möglichst genau mit dem echten Vorgang übereinstimmen.

[0046] Um daher die Simulationsgenauigkeit zu verbessern, wurden die Parameter der physikalischen Eigenschaften so eingestellt, daß die Simulationsergebnisse mit den gemessenen Verschiebungen übereinstimmen, wobei diese Einstellungen auf der Form vor und nach einer meßbaren Verformung basierten. Zu den Parametern physikalischer Eigenschaften gehören der Koeffizient der linearen Dehnung, der Young-Modul, das Poisson-Verhältnis, die thermische Leitfähigkeit, die spezifische Wärme, die Dichte usw. Simulationsergebnisse nach der Parametereinstellung sind in der Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1

	Verformung (mm)		Differenz (gemessenes FEV)	[Differenz x 100]/ Meßwert (%)
	gemessen	FEV		
Tailenweite	-1,925	-1,886	-0,039	-2,068
Tailentiefe	2,225	2,350	-0,125	-5,618
Höhe der Bodenvertiefung	-4,780	-4,753	-0,027	0,565

[0047] Die Prüfung der rechten Spalte in Tabelle 1, die dem relativen Fehler entspricht, ergibt, daß dieser höchstens 5% beträgt und die Parametereinstellung richtig war.

Zweite Ausführungsform

[0048] Eine zweite Ausführungsform der Erfindung wird anhand von **Fig. 2** erläutert, die ein Ablaufdiagramm der zweiten Ausführungsform eines Verfahrens zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs darstellt. Bei dieser zweiten Ausführungsform wird durch das Verfahren die Verformung infolge eines hydrostatischen Drucks berücksichtigt, der durch die Füllung der geformten Flasche mit einer Flüssigkeit als Inhalt entsteht. Der Kunststoff wird aus dem Metall-Formwerkzeug entnommen (S11) und unterliegt einer thermischen Schrumpfungsverformung (S12), wodurch sich ein Formstück ergibt (S13). Infolge der Füllung des Formstücks mit einer Flüssigkeit, die seinen Inhalt bildet, unterliegt es einer Verformung durch den hydrostatischen Druck (S14), bei dem es die Form des Endprodukts annimmt (S15). Bei dieser zweiten Ausführungsform der Erfindung wird auch dieser Vorgang berücksichtigt.

[0049] Das Entwurf-Verfahren läuft in umgekehrter Richtung ab. Das heißt, der Produktentwurf (S17) wird auf der Basis eines Entwurfkonzepts ausgeführt (S16), und das Formstück wird automatisch entworfen (S19), und zwar durch Berechnung der Form des Formstücks, die die Produktabmessungen ergibt, wenn es durch den hydrostatischen Druck nach dem Füllen mit dem Inhalt (S18) verformt wird. Die Form des Metall-Formwerkzeugs wird ebenfalls automatisch entworfen (S21), und zwar durch Berechnung der Form des Metall-Formwerkzeugs, die die Formstückabmessungen nach der Schrumpfungsverformung ergibt (S20).

[0050] Mithin wird bei der zweiten Ausführungsform ein zusätzlicher Schritt zu den Schritten der ersten Ausführungsform ausgeführt, bei dem die Form des leeren Formstücks mit der Form des Formstücks verglichen wird, nachdem es mit Inhalt gefüllt wurde, d. h. mit der Produktform verglichen, und eine etwaige Differenz wird durch die Entwurfsform des Metall-Formwerkzeugs wiedergegeben. Dieses Verfahren ähnelt dem der ersten Ausführungsform und wird entsprechend dem in **Fig. 1** dargestellten Ablaufdiagramm ausgeführt. Parameter wie die bei der ersten Ausführungsform werden so eingestellt, daß die Simulation mit den gemessenen Verschiebungen übereinstimmt.

Dritte Ausführungsform

[0051] Eine dritte Ausführungsform der Erfindung wird anhand von **Fig. 5** erläutert, die ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs gemäß dieser dritten Ausführungsform darstellt. Das Verfahren zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs nach der ersten oder zweiten Ausführungsform der Erfindung wird mittels der Vorrichtung zum Entwerfen des Metall-Formwerkzeugs durchgeführt, die in dieser dritten Ausführungsform offenbart ist. Die Anfangsform des Metall-Formwerkzeugs (b0) wird in Form dreidimensionaler Informationen mittels der Tastatur **6** eingegeben. Die Verformungssimulationsrecheneinheit **1** berechnet eine Simulation der Verformung, die auftritt, nachdem ein Formstück gleicher Form wie diese Anfangsform aus dem Metall-Formwerkzeug herausgenommen worden ist. Die Differenzberechnungseinheit **2** berechnet die Differenz zwischen der berechneten Verformung und der Ziel-Formstückform. Die Differenzentscheidungseinheit **3** vergleicht diese Differenz mit einem Schwellwert. Wenn diese Differenz den Schwellwert überschreitet, führt die Anfangsformänderungseinheit **4** eine Änderung der Anfangsform auf der Basis dieser Differenz aus. Die arithmetische Steuerung **5** veranlaßt, daß die Verformungssimulationsrecheneinheit **1**, die Differenzberechnungseinheit **2**, die Differenzentscheidungseinheit **3** und die Anfangsformänderungseinheit **4**

wiederholt arbeiten, bis die erwähnte Differenz kleiner als der Schwellwert wird.

[0052] Wenn auch die Verformung infolge des hydrostatischen Drucks, wie bei der zweiten Ausführungsform dieser Erfindung offenbart, berücksichtigt werden soll, dann berechnet die Verformungssimulationsrecheneinheit **1** eine Simulation der Verformung, die auftritt, nachdem ein Formstück gleicher Form wie die Anfangsform aus dem Metall-Formwerkzeug herausgenommen worden ist, und auch eine Simulation der anschließenden Verformung, die infolge des hydrostatischen Drucks auftritt, wenn das Formstück mit seinem Inhalt gefüllt worden ist.

[0053] Bei der ersten oder zweiten Ausführungsform der Erfindung wurde das Metall-Formwerkzeug bei einer Temperatur von etwa 120°C geöffnet, und die Abkühlungsdauer betrug 5 Sekunden. Bei dem bekannten Beispiel wurde das Metall-Formwerkzeug bei einer Temperatur von etwa 50°C geöffnet, und die Abkühlungsdauer betrug etwa 12 Sekunden. Man sieht daher, daß die Produktionsleistung pro Zeiteinheit um einen Faktor von wenigstens 2 verbessert wurde.

Vierte Ausführungsform

[0054] Anhand von **Fig. 1** wird eine vierte Ausführungsform der Erfindung beschrieben. Bei dieser vierten Ausführungsform wird ein Etikett durch ein Lösungsmittel mit einem Teil der Oberfläche eines Formstücks verbunden, wobei das Etikett aus einem anderen Material als das Hauptmaterial der Formstückoberfläche besteht, und der erste Schritt (S1), der in **Fig. 1** dargestellt ist, umfaßt eine Simulationsverformung nach der Hinzufügung von Parametern, die dieses Etikettenmaterial betreffen, wobei diese Parameter wenigstens seine thermische Leitfähigkeit und den Koeffizienten der linearen Ausdehnung aufweisen. **Fig. 6** stellt eine im Formwerkzeug etikettierte Flasche dar. Die zuvor beschriebene Verformungssimulation auf der Basis des FEV wird auf die in **Fig. 6** dargestellte Flasche angewandt.

[0055] Die Vorrichtung zur Durchführung des Metall-Formwerkzeug-Entwurfsverfahrens nach dieser vierten Ausführungsform der Erfindung hat den gleichen Aufbau wie die in **Fig. 5** dargestellte Vorrichtung, nur daß die Verformungssimulationsrecheneinheit **1** von ihrem Äquivalent in der ersten, zweiten und dritten Ausführungsform darin abweicht, daß sie die Verformung nach der Hinzunahme von Parametern simuliert, die sich auf das Material des Etiketts beziehen, zu denen wenigstens die thermische Leitfähigkeit und der Koeffizient der linearen Ausdehnung gehören.

[0056] Die Simulation der Verformung eines im Formwerkzeug etikettierten Behälters wird anhand der **Fig. 7** und der **Fig. 8** erläutert. **Fig. 7** stellt die Kunststoffstruktur und -parameter eines Behälters dar, an dem kein Etikett in dem Formwerkzeug angebracht wird. **Fig. 8** stellt die Kunststoffstruktur und -parameter des Teils eines im Formwerkzeug etikettierten Behälters dar, an dem das Etikett im Formwerkzeug angebracht wird.

[0057] Um die Verformung eines im Formwerkzeug etikettierten Behälters zu simulieren, werden zunächst die physikalischen Eigenschaften des Kunststoffes eines Behälters ermittelt, an dem das Etikett nicht im Formwerkzeug angebracht wird, und dann werden die physikalischen Eigenschaften des Kunststoffes eines Behälters ermittelt, an dem ein Etikett im Formwerkzeug angebracht wird. Die physikalischen Eigenschaften beider Kunststoffe, die für die Flasche (HDPE) und für das Etikett (PP) benutzt werden, werden von diesen beiden Gruppen physikalischer Eigenschaften nach subtraktiven Betrachtungen ermittelt.

[0058] Die Verformung durch thermische Schrumpfung eines im Formwerkzeug etikettierten Behälters kann dann aufgrund der auf diese Weise abgeleiteten physikalischen Eigenschaften der Kunststoffe simuliert werden.

[0059] Dies wird nachstehend ausführlicher beschrieben. Zuerst wird die thermische Leitfähigkeit und der Koeffizient der linearen Ausdehnung eines Behälters (siehe **Fig. 7**), an dem kein Etikett im Formwerkzeug angebracht wird (1), abgeleitet. Hierfür werden die Anfangswerte der thermischen Leitfähigkeit λ und der Koeffizient der linearen Ausdehnung α (2) eingestellt und eine Wärmeleitfähigkeitsanalyse (3) und thermische Spannungsanalyse (4) ausgeführt. Wenn die Verformung und die Umfangsschrumpfung der Oberfläche, auf der ein Etikett im Formwerkzeug angebracht werden soll, mit der Ist-Verformung (5) übereinstimmen, werden die Abweichungen (Fehler) in der Höhe, Breite und Tiefe von dem Ist-Formstück geprüft und die Berechnung beendet, wenn diese Abweichungen kleiner als die Schwellwerte (6) sind. Wenn die Verformung und Umfangsschrumpfung der Oberfläche, auf der ein Etikett im Formwerkzeug angebracht werden soll, nicht mit der Ist-Verformung übereinstimmen, wird die thermische Leitfähigkeit λ geändert (5) und die Wärmeleitfähigkeitsanalyse wiederholt (3). Die thermische Leitfähigkeit und der Koeffizient der linearen Ausdehnung des Kunst-

stoffes einer Flasche ohne Etikett werden durch Wiederholung der Verfahrensschritte (2) bis (6) abgeleitet.

[0060] Dann werden durch Wiederholung der Verfahrensschritte (2) bis (6), die vorstehend für einen im Formwerkzeug etikettierten Behälter beschrieben wurden, die thermische Leitfähigkeit und der Koeffizient der linearen Ausdehnung dieses Behälters (7) abgeleitet. Mit anderen Worten, es werden die thermische Leitfähigkeit und der Koeffizient der linearen Ausdehnung eines im Formwerkzeug etikettierten Behälters für die in **Fig. 8** (1) dargestellte Art abgeleitet. Hierfür werden die Anfangswerte der thermischen Leitfähigkeiten λ_1 und λ_2 und der Koeffizient der linearen Ausdehnung α_1 und α_2 (2) eingestellt. Dann wird die Wärmeleitfähigkeitsanalyse (3) und die thermische Beanspruchungs- oder Spannungsanalyse (4) ausgeführt. Wenn die Verformung und die Umfangsschrumpfung der Oberfläche, auf der das Etikett im Formwerkzeug angebracht werden soll, mit der Ist-Verformung übereinstimmt (5), werden die Abweichungen in der Höhe, Breite und Tiefe relativ zu dem Ist-Formstück geprüft und die Berechnung beendet, wenn diese Abweichungen kleiner als die Schwellwerte sind (6). Wenn die Verformungs- und Umfangsschrumpfung der Oberfläche, auf der das Etikett im Formwerkzeug angebracht wird, nicht mit der Ist-Verformung übereinstimmen, werden die thermischen Leitfähigkeiten λ_1 und λ_2 geändert (5) und die Wärmeleitfähigkeitsanalyse (3) wiederholt. Wenn die Verformung und Umfangsschrumpfung der Oberfläche, auf der das Etikett im Formwerkzeug angebracht wird, mit der Ist-Verformung übereinstimmen (5), werden die Abweichungen in der Höhe, Breite und Tiefe relativ zu dem Ist-Formstück geprüft, und wenn diese Abweichungen größer als die Schwellwerte sind, werden die Koeffizienten der linearen Ausdehnung α_1 und α_2 geändert (6) und die thermische Spannungsanalyse (4) wiederholt.

[0061] Die thermische Leitfähigkeit und der Koeffizient der linearen Ausdehnung des Kunststoffes der im Formwerkzeug etikettierten Flasche durch Wiederholung dieser Verfahrensschritte (2) bis (6) ermittelt.

[0062] Die physikalischen Eigenschaften des für die Flasche verwendeten Kunststoffes (HDPE) und des für das Etikett verwendeten Kunststoffes (PP) können aus den auf diese Weise ermittelten physikalischen Eigenschaften des Kunststoffes des nicht etikettierten Behälters und des Kunststoffes des im Formwerkzeug etikettierten Behälters durch subtraktive Betrachtungen ermittelt werden. Die thermische Leitfähigkeit und der Koeffizient der linearen Ausdehnung des Kunststoffes (HDPE) der Flasche und des Kunststoffes (PP) des Etiketts, die bei der vierten Ausführungsform ermittelt wurden, sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2

	Einheit	HDPE	PP
thermische Leitfähigkeit	cal/mm s °C	1,0E-4	1,0E-5
thermische Leitfähigkeit (Luft)	cal/mm s ² °C	4,78E-6	-
thermische Leitfähigkeit (Formwerkzeug)	cal/mm s ² °C	6,21E-5	1,00E-5
Spezifische Wärme	cal/kg °C	550	460
Dichte	kg/mm ³	0,955E-6	0,900E-6
thermischer Übertragungs-Wirkungsgrad	E-7 m ² /s	1,90	2,42E-1
Koeffizient der linearen Ausdehnung (Höhe)	/°C	1,52E-4	2,00E-5
Koeffizient der linearen Ausdehnung (umfanglich)	/°C	3,20E-4	2,00E-5
Young-Modul (Elastizitätsmodul)	Kg f/mm ²	3,0	1,0
Poisson-Verhältnis	-	0,4	0,4

[0063] Die Verformung durch thermische Schrumpfung eines Behälters wird mittels der auf diese Weise abgeleiteten physikalischen Eigenschaften der Kunststoffe simuliert. In **Fig. 9**, die einen Vergleich der simulierten Verformung durch thermische Schrumpfung mit gemessenen Ist-werten und Formstücken darstellt, ist auf der horizontalen Achse der Abstand vom Boden der Flasche (d. h. die Höhe) und auf der vertikalen Achse der Abstand von der Mitte des Bodens der Flasche aufgetragen. Wie die Tabelle 3 zeigt, können die Unterschiede zwischen den Meßwerten und der simulierten Verformung sehr klein gemacht werden. Die in der Tabelle 3 angegebene Breite und Tiefe sind die Breite und Tiefe desjenigen Teils der Flasche, der einer Höhe von 100 mm

entspricht.

Tabelle 3

	Höhe der Bodenerhebung	Breite	Tiefe
gemessen	182,67	94,44	52,94
Simulation	183,08	95,12	52,61
Differenz	-0,41	-0,68	0,33

[0064] Wie schon erläutert wurde, wird ein Metall-Formwerkzeug durch Simulation der Verformung infolge der thermischen Schrumpfung eines im Formwerkzeug etikettierten Behälters entworfen.

[0065] Wie **Fig. 1** zeigt, wird eine Verformung der Anfangsentwurfsform eines Metall-Formwerkzeugs (b0) infolge thermischer Schrumpfung simuliert, und eine etwaige Differenz zwischen diesem Simulationsergebnis und der Ziel-Formwerkzeugform reflektiert sich in der Metall-Formwerkzeug-Entwurfsform, und dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis eine Konvergenz zu der Ziel-Formwerkzeugform erreicht ist. Dabei wird die Nicht-linearität der Verformung berücksichtigt, und um die Konvergenz zu stabilisieren, wird ein Verlangsamungskoeffizient zur Einstellung der Differenz, die sich in der Metall-Formwerkzeug-Entwurfsform reflektiert, eingeführt. Damit dieses Verfahren effektiv ist, müssen der Betrag der Verformung und der Verformungszustand, der durch die auf dem FEV beruhende Verformungssimulation berechnet wurde, mit dem tatsächlichen Sachverhalt ziemlich genau übereinstimmen.

[0066] Um daher die Verformungssimulationsgenauigkeit zu verbessern, werden die Parameter der physikalischen Eigenschaften so eingestellt, daß die Simulationsergebnisse mit den gemessenen Verschiebungen übereinstimmen, wobei diese Einstellungen auf der Form vor und nach einer gemessenen Verformung beruhen. Zu den Parametern physikalischer Eigenschaften gehören der Koeffizient der linearen Ausdehnung, der Young-Modul, das Poisson-Verhältnis, die thermische Leitfähigkeit, die spezifische Wärme, die Dichte usw. Die Ergebnisse der Verformungssimulation nach der Parametereinstellung sind in der Tabelle 1 angegeben.

[0067] Eine Prüfung der in der rechten Spalte der Tabelle 1 angegebenen Werte, die der relativen Abweichung (dem relativen Fehler) entsprechen, zeigt, daß sie höchstens 5% beträgt, was bedeutet, daß die Parameter richtig eingestellt wurden.

[0068] Wie anhand der zweiten Ausführungsform der Erfindung erläutert wurde, kann ein Metall-Formwerkzeug unter Berücksichtigung der Verformung entwickelt werden, die durch den hydrostatischen Druck verursacht wird, der beim Füllen der geformten Flasche mit einer Flüssigkeit als deren Inhalt auftritt, und dies kann auch bei einer im Formwerkzeug etikettierten Flasche gemäß der vierten Ausführungsform der Erfindung angewandt werden.

[0069] Wie die Tabelle 4 zeigt, konnten mittels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs gute Ergebnisse erzielt werden.

Tabelle 4

		Abmessung (mm)		Differenz (Prüflings- Entwurfswert)	[Differenz × 100]/ Entwurfswert (%)
		Entwurfs- wert	Prüfling		
maximale Höhe		74,2	73,71	-0,49	-0,66
maximale Dicke		38,7	39,01	0,31	0,80
Schulterbreite		72,0	71,17	-0,83	-1,15
Schulterdicke		37,4	37,48	0,08	0,21
Tailenweite		59,01	58,56	-0,54	-0,91
Taillendicke		29,6	29,90	0,30	1,01
Gesamthöhe		216,5	217,07	0,57	0,26
Düsenhöhe		17,5	17,79	0,29	1,66
Innendurch- messer der Austritts- öffnung	Breite	18,3	18,67	0,37	2,02
	Dicke	^	18,04	-0,26	-1,42
Gewinde- durchmesser von Spitze zu Spitze	Breite	25,2	24,88	0,32	-1,27
	Dicke	^	24,92	-0,28	-1,11

[0070] Bei der vierten Ausführungsform der Erfindung wurde das Metall-Formwerkzeug bei einer Temperatur von etwa 120°C geöffnet, und die Kühldauer betrug 5 Sekunden. Bei dem Beispiel nach dem Stand der Technik wurde das Metall-Formwerkzeug bei einer Temperatur von etwa 50°C geöffnet, und die Kühldauer betrug etwa 12 Sekunden. Man sieht daher, daß die Produktion pro Zeiteinheit um einen Faktor von wenigstens 2 verbessert wurde.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs für einen Blasform-Prozeß, das aufweist: einen ersten Schritt des Simulierens der Verformung unter Anwendung eines Finite-Elemente-Verfahrens, die in einer Anfangsform eines blasgeformten Formstücks (seine Form unmittelbar vor dem Herausnehmen aus dem Metall-Formwerkzeug) auftritt, nachdem es aus dem Metall-Formwerkzeug bei einer Temperatur herausgenommen worden ist, bei der es sich nichtlinear verformt, wobei das Finite-Elemente-Verfahren aufweist: das Einstellen des thermischen Expansionskoeffizienten, des Young-Moduls, des Poisson-Verhältnisses, der thermischen Leitfähigkeit, der spezifischen Wärme und der Dichte des Formstück-Materials; einen zweiten Schritt des Berechnens der Differenz zwischen der verformten Form, die man bei diesem ersten Schritt erhalten hat, und einer Ziel-Formstückform; einen dritten Schritt des Vergleichens dieser Differenz mit einem Schwellwert; und einen vierten Schritt, worin, falls diese Differenz diesen Schwellwert überschreitet, eine Veränderung in der oben erwähnten Anfangsform auf der Basis dieser Differenz berechnet wird.

2. Verfahren zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs nach Anspruch 1, wobei ein Etikett mit Lösungsmittel auf einen Teil der Oberfläche des oben erwähnten Formstücks geklebt wird, wobei dieses Etikett aus einem anderen Material als das Hauptmaterial besteht, aus dem die Formstückoberfläche gebildet wird; und der oben erwähnte erste Schritt aufweist: die Simulation der Verformung nach dem Hinzufügen von Parametern, die sich auf das Material dieses Etiketts beziehen, wobei diese Parameter mindestens seine thermische Leitfähigkeit und seinen Linear-Ausdehnungskoeffizienten aufweisen.

3. Verfahren zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs nach Anspruch 1 oder 2, wobei die oben er-

wähnte Ziel-Werkstückform nicht die Verformung aufweist, die auf den inneren Druck zurückzuführen ist, der erzeugt wird, wenn das Formstück mit Inhalt gefüllt ist.

4. Verfahren zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs nach Anspruch 1 oder 2, worin die oben genannte Ziel-Formstückform die Verformung aufweist, die auf den inneren Druck zurückzuführen ist, der erzeugt wird, wenn das Formstück mit Inhalt gefüllt ist.

5. Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs für einen Blasform-Prozeß, wobei die Vorrichtung aufweist Mittel zum Eingeben der Anfangsform des Metall-Formwerkzeugs (b_0) in Form dreidimensionaler Informationen; und die folgenden vier Mittel: ein erstes Mittel zum Berechnen einer Simulation der Verformung unter Anwendung eines Finite-Elemente-Verfahrens, die auftritt, nachdem ein blasgeformtes Formstück mit gleicher Form wie die Anfangsform aus dem Metall-Formwerkzeug bei einer Temperatur herausgenommen worden ist, bei der es sich nichtlinear deformiert, wobei die ersten Mittel aufweisen: Mittel zum Einstellen des thermischen Expansionskoeffizienten, des Young-Moduls, des Poisson-Verhältnisses, der thermischen Leitfähigkeit, der spezifischen Wärme und der Dichte des Formstück-Materials; ein zweites Mittel zum Berechnen der Differenz (ξ) zwischen dem Berechnungsergebnis für die simulierte Verformung (c_i) und einer Ziel-Formstückform; ein drittes Mittel zum Vergleichen dieser Differenz mit einem Schwellwert; und ein viertes Mittel, das, wenn die Differenz den Schwellwert (t) übersteigt, die oben erwähnte Anfangsform auf der Basis dieser Differenz ändert; und ein Mittel, das bewirkt, daß die oben genannten ersten bis vierten Mittel wiederholt arbeiten, bis die oben genannte Differenz kleiner als der Schwellwert wird.

6. Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs nach Anspruch 5, worin ein Etikett mit Lösungsmittel auf einen Teil der Oberfläche des oben erwähnten Formstücks geklebt wird, wobei dieses Etikett aus einem anderen Material als das Material besteht, aus dem die Formstückoberfläche gebildet ist; und die oben erwähnten ersten Mittel die Verformung nach dem Hinzufügen von Parametern simulieren, die sich auf das Material dieses Etiketts beziehen, wobei diese Parameter zumindest seine thermische Leitfähigkeit und seinen Linear-Ausdehnungskoeffizienten aufweisen.

7. Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs nach Anspruch 5 oder Anspruch 6, worin die oben genannte Ziel-Formstückform nicht die Verformung aufweist, die auf den inneren Druck zurückzuführen ist, der erzeugt wird, wenn das Formstück mit Inhalt gefüllt wird.

8. Vorrichtung zum Entwerfen eines Metall-Formwerkzeugs nach Anspruch 5 oder Anspruch 6, worin die oben erwähnte Ziel-Formstückform die Verformung aufweist, die auf den inneren Druck zurückzuführen ist, der erzeugt wird, wenn das Formstück mit Inhalt gefüllt ist.

9. Maschinenlesbares Aufzeichnungsmedium, auf dem ein Programm zum Bewirken des Arbeitens jedes Mittels, das in einem der Ansprüche 5 bis 8 genannt ist, aufgezeichnet ist.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

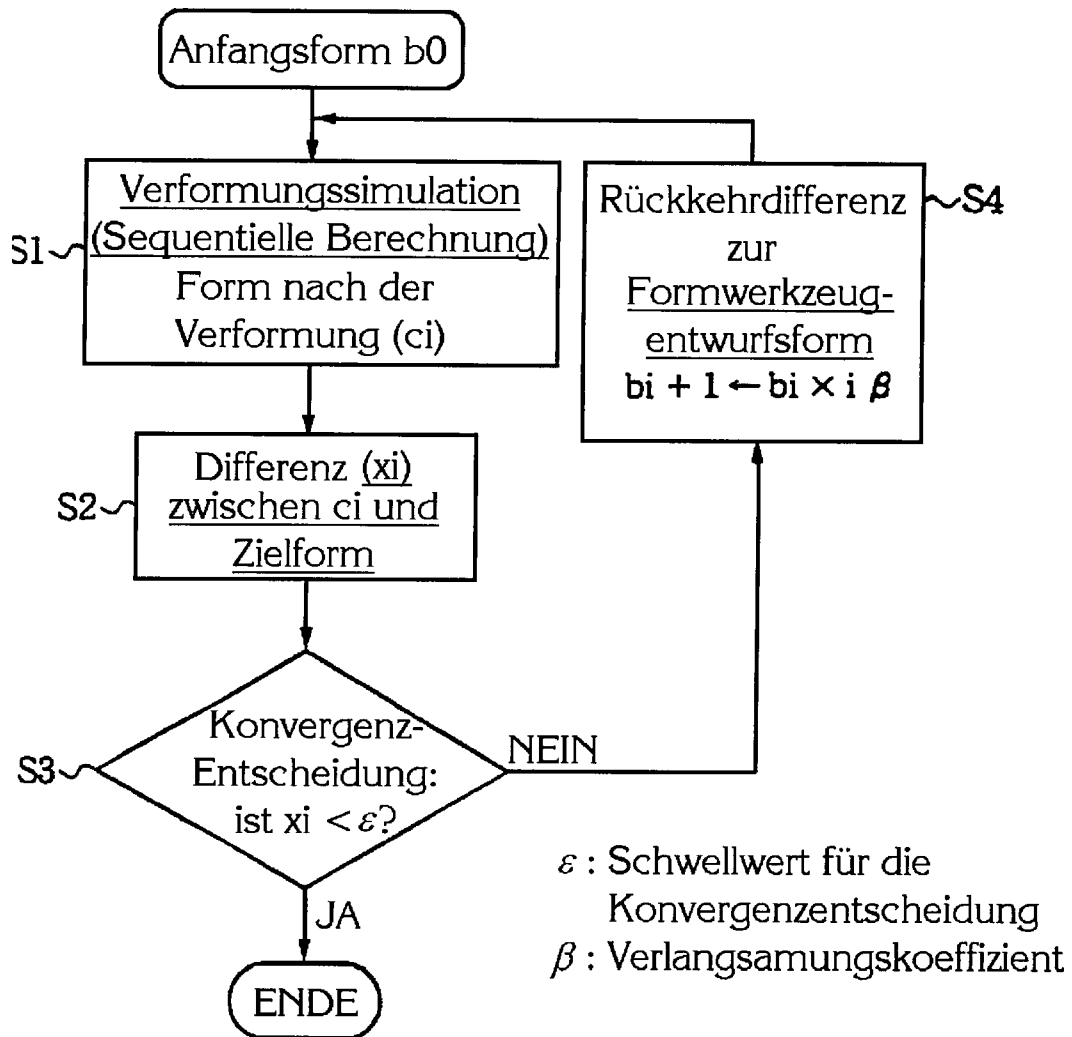


FIG. 1

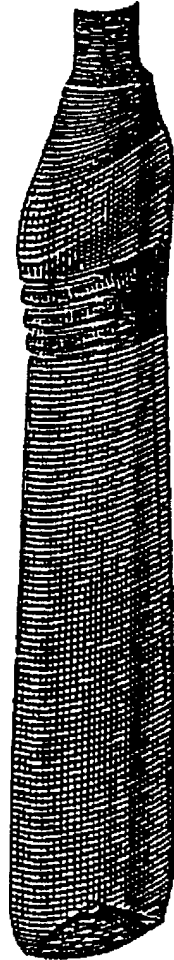


FIG.2

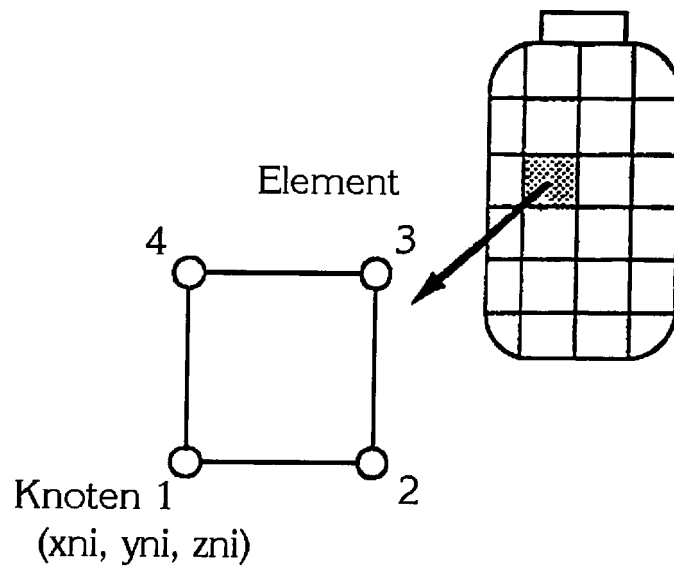


FIG.3a

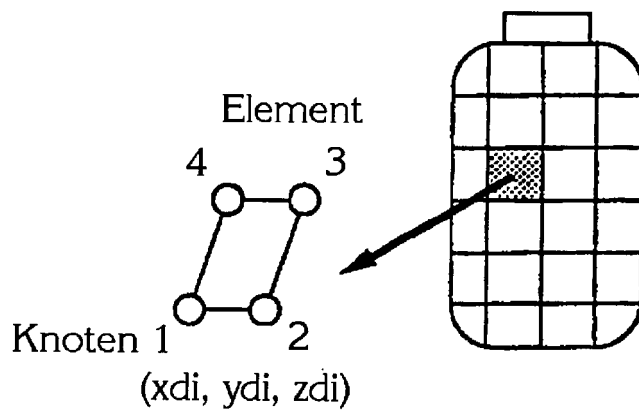


FIG.3b

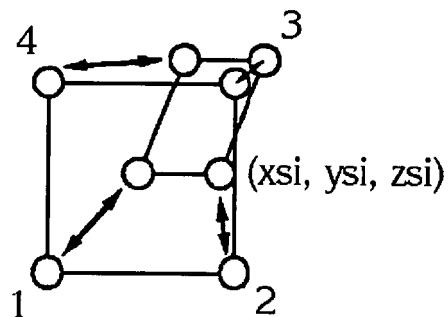


FIG.3c

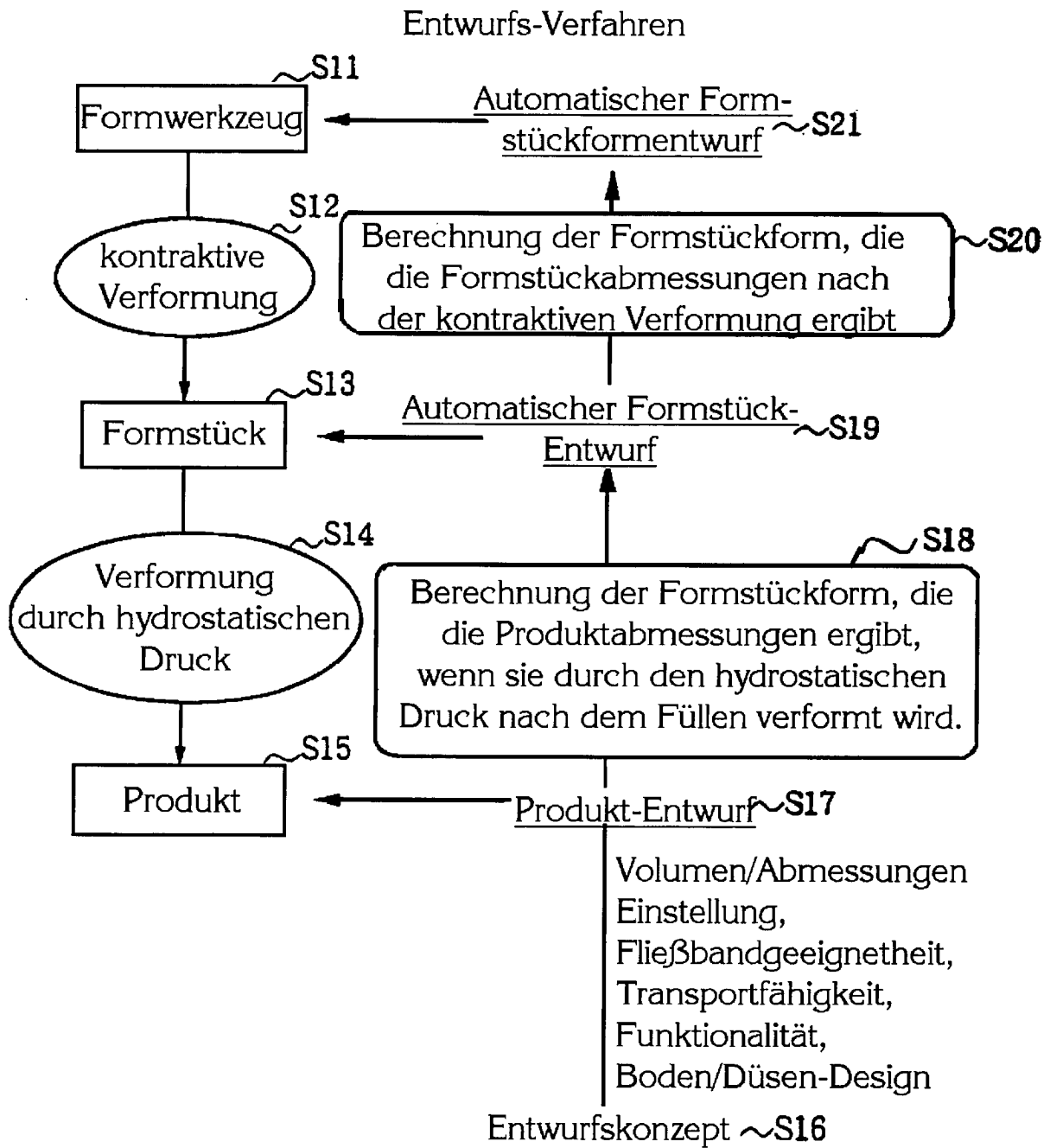


FIG.4

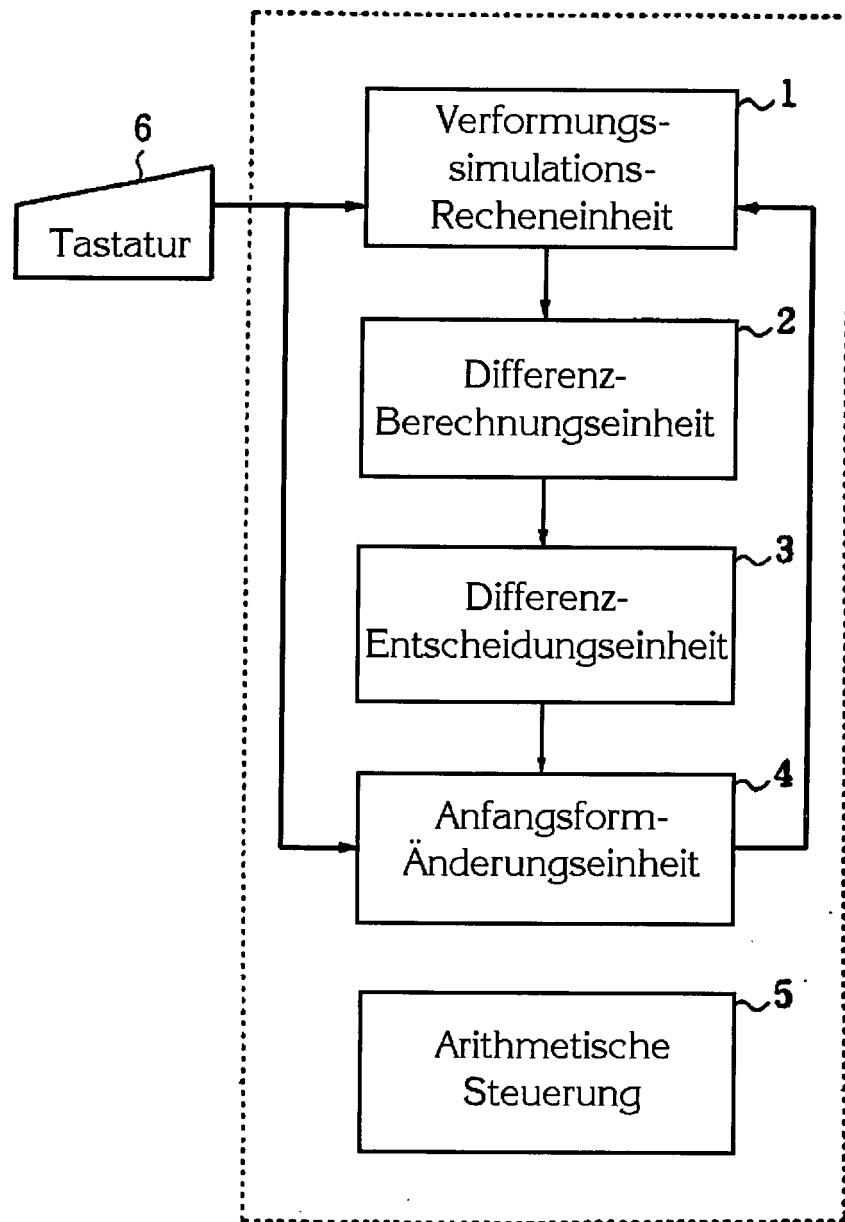


FIG.5

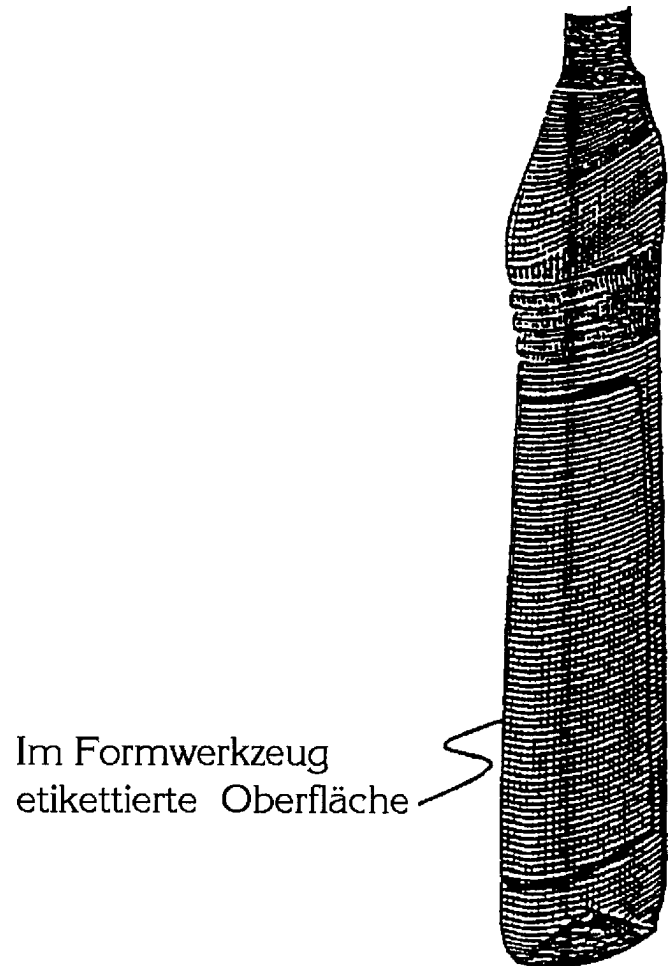


FIG.6

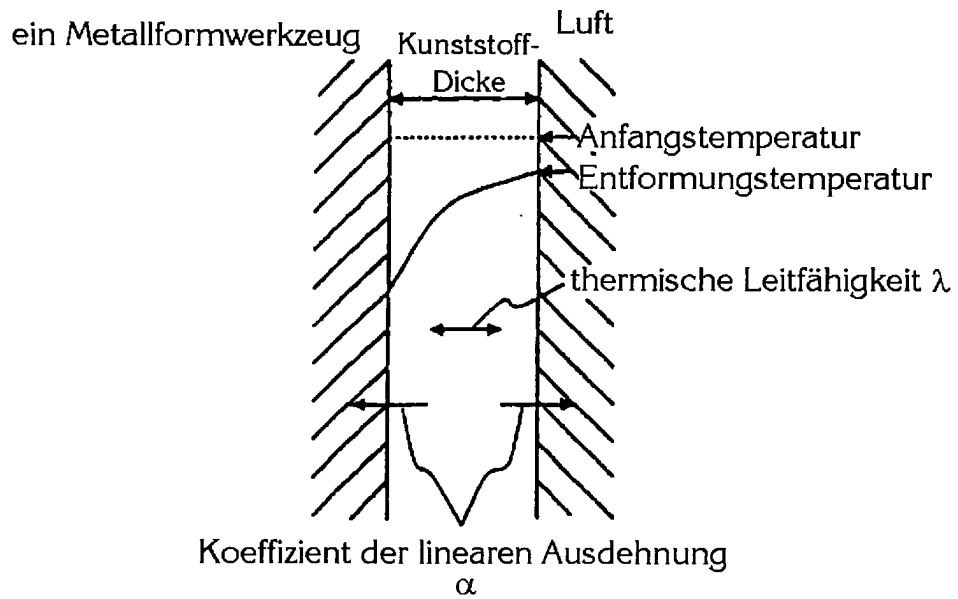


FIG.7

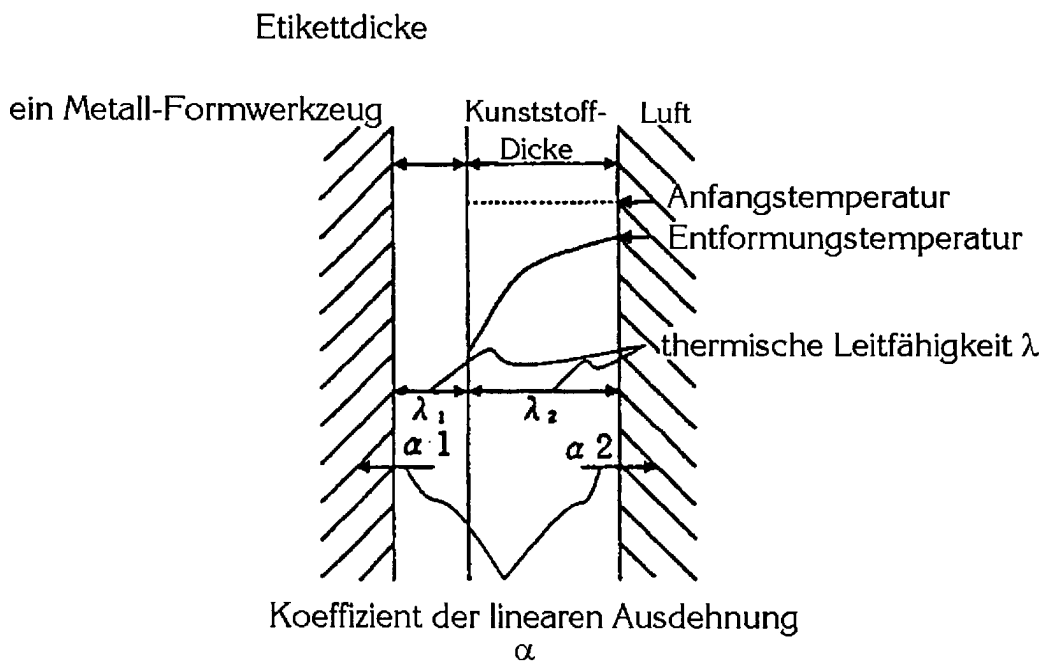


FIG.8

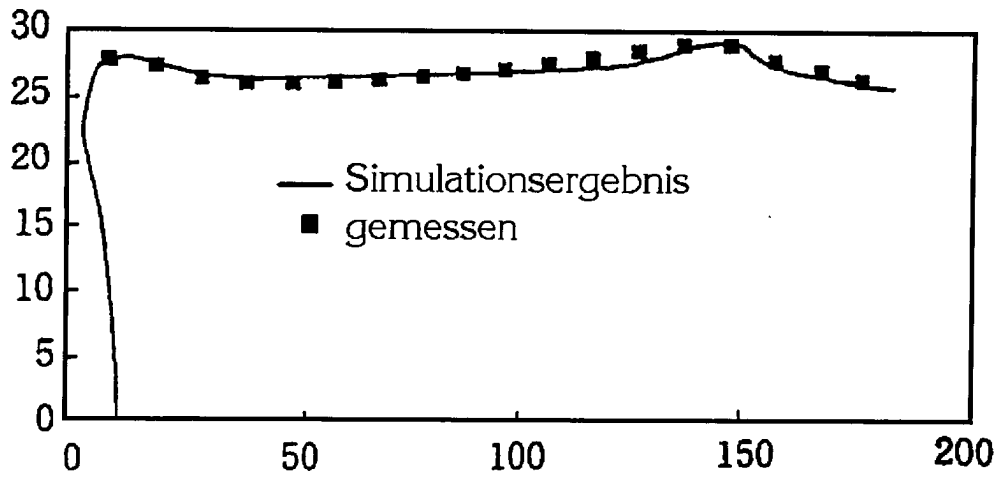


FIG.9

Stand der Technik

FIG.10a

Kübel-Extrusion

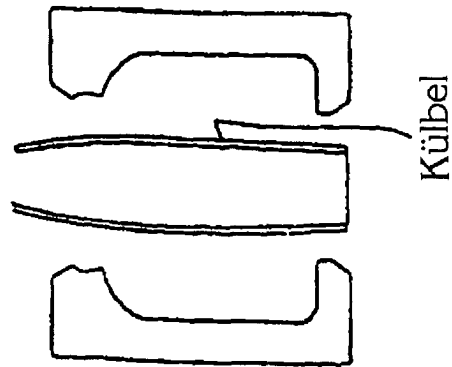


FIG.10b

Formwerkzeug
ist geschlossen

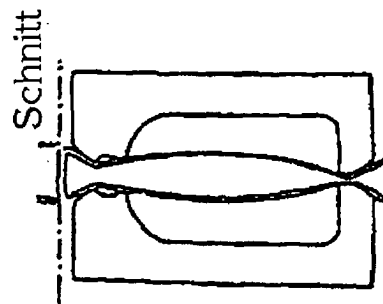


FIG.10c

eingelassene
Luft

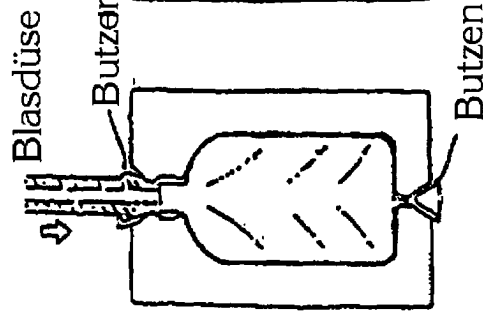


FIG.10d

entformtes Produkt

