



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 29 663 T2 2006.09.21

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 000 727 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 29 663.3

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 309 105.7

(96) Europäischer Anmeldetag: 16.11.1999

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 17.05.2000

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 01.02.2006

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 21.09.2006

(51) Int Cl.⁸: **B29C 43/58 (2006.01)**

B29C 33/26 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
192427 16.11.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, GB

(73) Patentinhaber:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(72) Erfinder:
Woodmansee, Donald Ernest, Schenectady, New York 12309, US; Upadhyay, Ram Kumar, Niskayuna, New York 12309, US

(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Messen des Drucks im Formhohlraum einer Formpresse**

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 eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Berührungssensor, und insbesondere die Verbesserung eines Kontaktes oder Drucks zwischen einem Formverschluss und einem Werkstück, um eine seitliche Bewegung des Werkstücks während des Pressformens zu verhindern.

[0002] Typischerweise wird ein aus mehreren Schichten aufgebautes Werkstück Schicht für Schicht gebildet, wobei die Dicke einzelner Schichten um wenigstens 5–10% variieren kann. Das Werkstück wird anschließend verdichtet, indem unter Vakuum Wärme zugeführt wird, um Gase zu entfernen und das Werkstück vorzuverdichten. Zuletzt wird das Werkstück in einem abgedichteten Beutel in einer Pressform angeordnet und lediglich mittels Autoklavluftdruck zu einem endgültigen ausgeformten Werkstück weiter verdichtet. Es hat sich allerdings herausgestellt, dass sich mittels Pressformung eines verdichteten Werkstücks eine bessere Außenflächengeometrie erzielen und dem Werkstück eine von Materialschichtvariabilität unabhängige endgültige Geometrie auferlegen lässt, als dies mit herkömmlichen Autoklavpressverfahren möglich ist.

[0003] In einem Pressformungsverfahren wird das vorgeformte Werkstück in ähnlicher Weise wie in dem Autoklavverfahren aufgebaut. Anstelle einer Autoklavpressformung des Werkstücks zur endgültigen Verdichtung wird das vorverdichtete Werkstück allerdings in einem Pressformhohlraum angeordnet, und ein Formverschluss wird bewegt, um mit dem Werkstück in Berührung zu kommen, während die Pressform außerdem nach einem vorgegebenen Temperaturzeitschema erwärmt wird. Die endgültige Verdichtung des Werkstücks wird durchgeführt, indem das Werkstück zwischen dem Formhohlraum und dem Formverschluss in der Pressform zusammengedrückt wird.

[0004] Ungünstigerweise kann der Vorgang, bei dem durch Pressformung eine bessere Außenflächengeometrie erzielt wird, in manchen Fällen zu einem übermäßigen lateralen Fließen einer oder mehrerer Schichten des Werkstücks führen. Das übermäßige laterale Fließen kann die Entstehung von Falten in einer oder mehreren Schichten begünstigen. Solche Falten führen zu Anomalien in dem Werkstück und können in manchen Fällen die Festigkeit des endgültigen ausgeformten Werkstücks herabsetzen.

[0005] Eine Ursache für das übermäßige laterale Fließen ist möglicherweise uneinheitlicher Kontakt zwischen der Pressform und dem Werkstück, insbesondere während des ersten Kontakts der Pressform mit dem Werkstück vor dem Beginn der Pressformung. Als eine weitere Ursache kommt in Betracht, dass der auf das Werkstück während des Pressfor-

mens ausgeübte Druck uneinheitlich ist. Folglich ist es erwünscht, sicherzustellen, dass die Pressform vor und während des Pressformens so vollständig und einheitlich wie möglich mit dem vorgeformten Werkstück in Berührung steht, um die Wahrscheinlichkeit einer übermäßigen lateralen Bewegung des Werkstücks bezüglich der Pressform zu reduzieren. Aus einem ähnlichen Grund ist es erwünscht, zu gewährleisten, dass der auf das vorgeformte Werkstück während des Pressformens angewandte Druck hinsichtlich der Erzielung eines qualitativ hochwertigen Teils optimiert ist.

[0006] Es besteht daher im Stand der Technik ein Bedarf für einen verbesserten Formverschluss. Eine solche Vorrichtung ist in der US-A-5 174 933 offenbart, die eine Vorrichtung beschreibt, die dazu dient, unter Verwendung gesteuerter Pressformdrücke ein Pressformprodukt zu erzeugen, das eine Beschichtungsschicht aufweist.

[0007] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ist eine Vorrichtung zum Erfassen einer Berührung zwischen einer Pressform und einem Werkstück geschaffen, das in der Pressform angeordnet ist, die einen Formhohlraum und einen in Bezug auf das Werkstück beweglichen Formverschluss enthält, gekennzeichnet durch: wenigstens eine nachgiebige Sensorplatte, die zum Signalisieren einer Berührung zwischen dem Formverschluss und dem Werkstück positionierbar ist; wobei wenigstens ein Berührungs-sensor mehrere Berührungs-sensorfelder aufweist, die so angeordnet sind, dass sie eine Berührung zwischen dem Formverschluss und dem Werkstück an mehreren unterschiedlichen Punkten über einer Oberfläche des Werkstücks signalisieren, um ein Signal zu erzeugen, das anzeigt, wenn der Formverschluss einen Teil des Werkstücks berührt, und das den Formverschluss auf der Basis des Signals steuert, um das Werkstück mit dem restlichen Abschnitt des Formverschlusses in Kontakt zu bringen.

[0008] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Erfassen einer Berührung zwischen einer Pressform und einem Werkstück geschaffen, das in der Pressform angeordnet ist, die einen Formhohlraum und einen in Bezug auf das Werkstück beweglichen Formverschluss enthält, gekennzeichnet durch: Positionieren wenigstens einer nachgiebigen Sensorplatte, die wenigstens ein Kontaktberührungs-sensorfeld enthält, um eine Berührung zwischen dem Formverschluss und dem Werkstück anzuzeigen; Erzeugen eines Signals, das eine Berührung zwischen dem Formverschluss und dem Werkstück anzeigt, wobei das Signal wenigstens einen Kontakt dazwischen anzeigt; und Entfernen des Werkstücks aus der Form und Trennen der Sensorplatte von dem Werkstück.

[0009] Die Erfindung wird nun eingehender anhand

von Beispielen mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben:

[0010] [Fig. 1](#) zeigt in einer schematischen auseinandergezogenen geschnittenen Seitenansicht einen Formverschluss, ein Werkstück, einen Formhohlraum und einen Berührungssensor, wobei der Formverschluss bewegt wird, um mit dem Werkstück in Berührung zu kommen;

[0011] [Fig. 2](#) zeigt eine nicht auseinandergezogene Ansicht nach [Fig. 1](#);

[0012] [Fig. 3](#) zeigt eine abschnittsweise ebene schematische Ansicht längs der Schnittlinie 3–3 von [Fig. 2](#), jedoch mit mehreren Berührungssensoren;

[0013] [Fig. 4](#) zeigt in einem Blockschaltbild eine Pressform, ein Pressformsteuersystem und einen Berührungssensormonitor;

[0014] [Fig. 5](#) zeigt in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht einen Abschnitt eines auf Berührung basierenden Berührungssensorfelds;

[0015] [Fig. 6](#) zeigt in einer ähnlichen Ansicht wie [Fig. 5](#) ein alternatives Ausführungsbeispiel dieser Erfindung;

[0016] [Fig. 7](#) zeigt eine schematische geschnittene Seitenansicht eines Abschnitts eines auf einem Dehnungsmesser basierenden Druckberührungssensorfelds;

[0017] [Fig. 8](#) zeigt in einer ähnlichen Ansicht wie [Fig. 7](#) ein alternatives Ausführungsbeispiel dieser Erfindung, das eine piezoelektrische Bauart eines Druckberührungssensorfelds aufweist;

[0018] [Fig. 9](#) zeigt in einer ähnlichen Ansicht wie [Fig. 7](#) ein weiteres alternatives Ausführungsbeispiel dieser Erfindung, das ein Druckberührungssensorfeld kapazitiver Bauart aufweist;

[0019] [Fig. 10](#) zeigt in einer ähnlichen Ansicht wie [Fig. 7](#) noch ein weiteres alternatives Ausführungsbeispiel dieser Erfindung mit einem auf Faseroptik basierenden Druckberührungssensorfeld; und

[0020] [Fig. 11](#) veranschaulicht in einem Flussdiagramm Schritte zur praktischen Verwirklichung der Erfindung;

[0021] [Fig. 1–Fig. 3](#) veranschaulichen schematisch eine Vorrichtung **10** zum Erfassen einer Berührung zwischen einer Form **26**, beispielsweise einer Pressform, und einem Werkstück **40**, das gewöhnlich aus mehreren Materialschichten aufgebaut ist. Die Pressform **26** kann eine beliebige herkömmliche Pressformungsmaschine beinhalten, die einen Pressformver-

schluss **30**, einen Pressformhohlraum **28** und eine von dem Inneren des Formhohlraums **28** zu einer Außenumgebung führenden Pressformöffnung **70** enthält. In einem Ausführungsbeispiel beinhaltet die Pressform **26** eine vier Kolben verwendende hydraulische Bauart einer Pressformmaschine, beispielsweise eine Murdock™ Pressformmaschine.

[0022] Das Werkstück **40** kann in dem Formhohlraum **28** angeordnet werden, wobei der Formhohlraum **28** vorzugsweise in Bezug auf das Werkstück **40** weitgehend fixiert ist, und sich das Werkstück **40** daher in Bezug auf den Formverschluss **30** bewegen lässt. Zumindest ein Berührungssensor, z.B. ein Berührungssensorfeld **12**, ist positionierbar, um zu signalisieren, in welcher Weise der Formverschluss **30** das Werkstück **40** berührt. Der Begriff "Berühren" beinhaltet in dem hier verwendeten Sinne jede von der Pressform **26** auf das Werkstück **40** oder vice versa ausgeübte Kraft oder Wirkung. Ein solches Berühren kann eine unmittelbare physikalische Berührung zwischen gegenüberliegenden Oberflächen der beiden Teile bis zu einer Berührung zwischen gegenüberliegenden Oberflächen der beiden Teile über wenigstens ein intermediäres Mittel umfassen. Weiter könnte ein solches Berühren einen bloßen Kontakt, in dem hier definierten Sinne, bis zu Druck, in dem hier definierten Sinne, zwischen gegenüberliegenden Oberflächen des Werkstücks **40** und der Pressform **26** beinhalten.

[0023] Unter Bezugnahme auf [Fig. 5](#) beinhaltet der Berührungssensor **12** vorzugsweise gewöhnlich wenigstens einen Kontaktensor, beispielsweise ein auf Berührung basierendes Berührungssensorfeld **14**. Das Feld **14** ist in der Lage, ein Signal zu erzeugen, das anzeigt, wann der Pressformverschluss **30** während des Positionierens des Formverschlusses **30** in Richtung des Werkstücks **40** und des Formhohlraums **28** ([Fig. 2](#)) das Werkstück **40** berührt. Der Begriff "Kontakt" beinhaltet in dem hier verwendeten Sinne jede Berührung zwischen dem Formverschluss **30** und dem Werkstück **40**, einschließlich einer unmittelbaren physikalischen Berührung zwischen gegenüberliegenden Oberflächen der beiden Teile bis zur Berührung zwischen gegenüberliegenden Oberflächen der beiden Teile über wenigstens ein intermediäres Mittel. Obwohl mit der vorliegenden Erfindung ein Kontakt zu beliebigen Zeitpunkten angezeigt werden kann, ist es sehr von Vorteil, den Zeitpunkt zu erfassen, in dem es zum ersten Kontakt zwischen dem Formverschluss **30** und dem Werkstück **40** kommt. Beispielsweise kann der Zeitpunkt dieses anfänglichen Kontakts vorteilhaft als "Nullzeitpunkt" genutzt werden, um ein auf zwei Schritten basierendes gesteuertes Verfahren zu beginnen, nämlich (1) Schließen der Pressform **26** und (2) Starten der Pressformerwärmung. Jeder Schritt verfügt vorzugsweise über ein von diesem Zeitpunkt bis zur Vollerfüllung des Formungsvorgangs angewandtes eigenes

grundlegendes Zeitschema des Schließen (oder der bevorzugten Kraft, die auf das Werkstück **40** ausgeübt wird) bzw. der Wärmebehandlungen. Nachfolgende über die Fläche des Werkstücks **40** erfolgende Kontakte können jedoch ebenfalls genutzt werden, um diese grundlegenden Zeitschemata während des Formungsvorgangs zu modifizieren.

[0024] Unter Bezugnahme auf [Fig. 7](#) kann der Berührungssensor **12** zusätzlich oder alternativ einen Drucksensor, beispielsweise ein auf Druck basierendes Berührungssensorfeld **84**, aufweisen. Der Drucksensor kann ein Signal ausgeben, das einen Flächendruck zwischen dem Werkstück **40** und dem zu dem Sensor **12** benachbarten Pressformverschluss **30** anzeigt, beispielsweise den örtlichen Flächendruck. Der Begriff "Druck" umfasst in dem hier verwendeten Sinne jeden Druck zwischen dem Formverschluss **30** und dem Werkstück **40**, einschließlich des unmittelbaren physikalischen Drucks zwischen gegenüberliegenden Oberflächen der beiden Teile bis zu dem Druck zwischen gegenüberliegenden Oberflächen der beiden Teile über wenigstens ein intermediäres Mittel. Obwohl mit der vorliegenden Erfindung der Druck zu beliebigen Zeitpunkten angezeigt werden kann, ist es sehr von Vorteil, über den gesamten Pressformungsvorgang hinweg den nach dem anfänglichen Kontakt zwischen dem Formverschluss und dem Werkstück auftretenden örtlichen Werkstückflächendruck zu erfassen.

[0025] Unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) beinhaltet der wenigstens eine Sensor **12** vorzugsweise mehrere Sensoren **12**, die angeordnet sind, um an mehreren unterschiedlichen Punkten über eine Oberfläche **42** des Werkstücks **40** hinweg auftretende Berührungen zwischen dem Formverschluss **30** und dem Werkstück **40** zu signalisieren. Je nach Bedarf kann jeder Sensor **12** einen Kontaktensor oder einen Drucksensor, oder beides beinhalten. Darüber hinaus ist es mit Bezug auf [Fig. 2](#) bevorzugt, dass der Formverschluss **30** bezüglich des Werkstücks **40** kippt, um die Gesamtzahl der vielen unterschiedlichen Punkte zu erhöhen, die eine Berührung zwischen dem Formverschluss **30** und dem Werkstück **40** signalisieren. Das Kippen kann durch Betätigung des Formverschlusses **30** durch manuelle oder automatische Mittel verwirklicht werden. Vorzugsweise ist das Kippen in entgegengesetzten Richtungen **34** längs wenigstens eines Durchmessers der Pressform **26** und am meisten vorzuziehen längs mehreren Durchmessern der Pressform **26** ermöglicht.

[0026] [Fig. 4](#) veranschaulicht schematisch die Pressform **26**, ein Pressformsteuersystem **36** und einen Berührungssensormonitor **38**. Diese tauschen untereinander Daten aus, um die Pressform **26** zu steuern und die Art und Weise der Berührung des Formverschlusses **30** mit dem Werkstück **40** zu überwachen und zu interpretieren. Beispielsweise können

manuelle oder automatische Mittel verwendet werden, um Berührungen zwischen dem Werkstück **40** und dem Formverschluss **30** zu überwachen und außerdem das Signal basierend auf dem interpretierten Signal hinsichtlich einer Steuerung der Bewegung des Formverschlusses **30** zu interpretieren.

[0027] [Fig. 5](#) veranschaulicht schematisch ein auf Berührung basierendes Berührungssensorfeld **14**, wobei das Feld **14** zwischen dem Formverschluss **30** und dem Werkstück **40** positionierbar ist. Das auf Berührung basierende Berührungssensorfeld **14** kann eine Berührungssensoranordnung **16** beinhalten, die ein nachgiebiges Plattenmaterial **18** und ein auf Berührung basierendes Berührungssensorfeld **14** aufweist. Beispielsweise kommen ausgezeichnete Ergebnisse in Betracht, wenn das auf Berührung basierende Berührungssensorfeld einen Membranschalter aufweist, wie er beispielsweise in Benutzerschnittstellenvorrichtungen verwendet wird. Ein derartiges, auf niedrigen Druck (vorzugsweise beispielsweise < 6895 Pascal (1 psi)) ansprechendes Sensorfeld, gibt bereits auf eine Berührung mit einer sehr geringen Durchbiegung hin ein positives Signal aus und ist in der Lage sehr große Lasten aufzunehmen (d.h. während die Kontakte geschlossen sind). Darüber hinaus kommen ausgezeichnete Ergebnisse in Betracht, wenn die nachgiebige Platte **18** beispielsweise ein nicht leitendes verformbares Element ist, das auf einem Material aus der Gruppe basiert, zu der Harz, thermoplastisches Harz und Silikongummi, z.B. GE Lexan TM Polycarbonat, GE Ultron TM Polyetherimid oder DuPont Kevlar TM Harze gehören.

[0028] Noch immer Bezug nehmend auf [Fig. 5](#) kann in der Berührungssensoranordnung **16** jedes der auf Berührung basierenden Berührungssensorfelder **14** (die allgemein durch Felder **12** in [Fig. 3](#) angezeigt sind) mit einer Signalleitung **20** verbunden sein, um einen Datenaustausch von dem Feld **14** zu der Außenseite der Pressform **26** zu ermöglichen. Beispielsweise können Metallkontakt verwendende Berührungssensorfelder **14** und Metallsignalleitungen (z.B. Drähte) **20** verwendet werden, um eine Berührung mit einem metallischen Formverschluss **30** zu signalisieren. In einem solchen Fall kann wenigstens ein herkömmlicher Berührungssensormonitor, beispielsweise ein Ohmmeter **72** ([Fig. 2](#)), mit Signalleitungen **20** an der Außenseite der Pressform **26** verbunden sein. Diese kann die Verwendung einer Drahtsteckverbindung **22** ([Fig. 3](#)) beinhalten, oder es können Signalleitungen **20** ausgehend von den Feldern **14** fortlaufend ununterbrochen zu der Außenseite der Pressform **26** verlaufen. In beiden Fällen gelangen die Signalleitungen **20** aus dem Innern der Pressform durch die Pressformöffnung **70** oder der gleichen nach außen, beispielsweise durch beliebige herkömmliche Dichtungsstrukturen, zu denen Elastomerdichtungen oder rasch härtende Dichtungen gehören, die sich nach Vollendung der Pressformung

von den Signalleitungen **20** wegbrechen lassen.

[0029] Insbesondere signalisieren die Felder **14**, wenn der metallische Formverschluss **30** mit den auf Berührung basierenden Berührungssensorfeldern **14** (z.B. Berührungssensorfeldern **12** nach [Fig. 2](#), die von der auf Berührung basierenden Bauart sind) in Kontakt kommt, eine Berührung an einem oder mehreren Punkten über eine Fläche **42** des Werkstücks **40**. D.h., die Signalleitungen **20** können nacheinander mit einer Niederspannungsgleichspannungsquelle verbunden werden, derer zweiter Pol in der Regel mit dem metallischen Formverschluss **30** verbunden sind. Während sich der Formverschluss **30** in Richtung des Werkstücks **40** bewegt, schließen mindestens eines, und anschließend weitere und vorzugsweise sämtliche der auf Berührung basierenden Berührungssensorfelder den Schaltkreis in einer einfachen Kontinuitätsüberwachungsanordnung. Diese Daten könnten durch herkömmliche Mittel interpretiert werden, um zu ermitteln, welche der auf Berührung basierenden Berührungssensorfeld(er) **14** den Formverschluss **30** berühren. Diese Daten können wiederum einem manuellen Bediener oder einem automatischen Steuerungssystem Hinweise über die Art und Weise der Durchführung des Kippens des Formverschlusses **30** liefern, um ein Berührungsereignis, beispielsweise den Kontakt zwischen dem Formverschluss **30** und dem Werkstück **40**, zu verbessern.

[0030] [Fig. 6](#) veranschaulicht schematisch ein alternatives Ausführungsbeispiel eines auf Berührung basierenden Berührungssensorfeldes **76** und der Berührungssensoranordnung **16** dieser Erfindung. In diesem Ausführungsbeispiel kann der Sensor vollständig in dem nachgiebigen Plattenmaterial **18** eingekapselt sein. Das auf Berührung basierende Berührungssensorfeld **76** kann durch zwei voneinander durch einen Isolator **24** beabstandete gegenüberliegende Oberflächen einer Signalleitung **20** (beispielsweise eines Drahtes) gebildet sein. Ein derartiges auf Berührung basierendes Berührungssensorfeld **76** kann ferner ein Paar Kragen **56** aufweisen, wobei ein von außen ausgeübter Druck auf die Kragen **56** diese nach innen gegeneinander drückt, und, wenn sich deren gegenüberliegende Flächen berühren, ein beispielsweise durch eine Drahtleitung **20** gebildeter Stromkreis geschlossen wird. Weiter muss dieses Ausführungsbeispiel nicht unbedingt kompatibel mit dem Formverschluss **30** sein (d.h. Metall zu Metall, usw.), da das auf Berührung basierende Berührungssensorfeld **76** zur Gänze in dem nachgiebigen Plattenmaterial **18** enthalten ist. Somit kann dieses Ausführungsbeispiel lediglich von der Signalübertragung über das auf Berührung basierende Berührungssensorfeld **76** und über die Signalleitung **20** abhängen. Im Gegensatz zu diesen strukturellen Unterschieden ähnelt dieses Ausführungsbeispiel dem auf Berührung basierenden Berührungssensorfeld.

[0031] [Fig. 7](#) veranschaulicht schematisch einen auf einem Dehnungsmesser basierenden Druck-Berührungssensor, der zwischen dem Formverschluss **30** und dem Werkstück **40** positionierbar ist. Dieser auf Druck basierende Berührungssensor kann ebenfalls die Berührungssensoranordnung **16** aufweisen, zu der das nachgiebige Plattenmaterial **18** und ein auf Druck basierendes Berührungssensorfeld **80** oder ein oder mehrere auf Berührung basierende Berührungssensorfelder **14** oder **76**, und vorzugsweise beide gehören. Eine derartiger Drucksensor (z.B. der vorzugsweise im Bereich von 10 psi bis 1000 psi anspricht) ist in der Lage, den örtlichen Flächendruck zwischen dem Werkstück **40** und dem Formverschluss **30** über die Pressformung des Werkstücks **40** hinweg genauer zu erfassen. Der Berührungssensor dieser Erfindung kann eine einzelne Struktur enthalten, die die Merkmale und Druckbereiche aufweist, die für sowohl mit Blick auf Berührung basierende als auch auf Druck basierende Berührungsensoren der Erfindung gewünscht ist.

[0032] Noch immer Bezug nehmend auf [Fig. 7](#) werden beispielsweise ausgezeichnete Ergebnisse erwartet, wenn der auf Druck basierende Berührungssensor ein flaches Dehnungsmesserfeld **80** aufweist. Das Feld **80** kann einen Widerstand **82** aufweisen, der auf einem biegsamen Stab- oder Scheibensubstrat **84** angebracht ist. In der Praxis ändert das nachgiebige Substrat **84** den durch einen Widerstandsmonitor **86** gemessenen Widerstand, und dieser Messwert kann zum Ermitteln von Druckunterschieden genutzt werden.

[0033] [Fig. 8](#) veranschaulicht schematisch noch ein Ausführungsbeispiel eines auf Druck basierenden Berührungssensorfelds **90**, das, abgesehen von seiner speziellen Funktion, mit dem auf einem Dehnungsmesser basierenden Sensor ([Fig. 7](#)) austauschbar ist. Das Sensorfeld **90** kann ein piezoelektrisches Sensorfeld beinhalten. Der Sensor kann Elektroden **92** aufweisen, die auf das piezoelektrische Material **94** aufgalvanisiert sind. In der Praxis verändern Änderungen des externen Drucks die durch einen herkömmlichen Spannungsmonitor **96** gemessene Spannung, und dieser Messwert kann zur Bestimmung von Druckunterschieden genutzt werden.

[0034] [Fig. 9](#) veranschaulicht schematisch noch ein Ausführungsbeispiel eines auf Druck basierenden Berührungssensorfelds, das, abgesehen von seiner speziellen Funktion, mit dem auf einem Dehnungsmesser basierenden Sensor ([Fig. 7](#)) austauschbar ist. Ein Sensorfeld **100** veranschaulicht ein herkömmliches kapazitives Sensorfeld. Der Sensor kann zwischen starren Leitern **102** angeordnetes verformbares Material **104** enthalten. In der Praxis verringert sich ein Spalt **106–106** bei Belastung, und die durch einen Kapazitätsmonitor **108** gemessene Systemka-

pazität steigt an, und dieser Messwert kann zur Bestimmung von Druckunterschieden verwendet werden.

[0035] [Fig. 10](#) veranschaulicht schematisch noch ein Ausführungsbeispiel eines auf Druck basierenden Berührungssensorfelds **110**, das, abgesehen von seiner speziellen Funktion, mit dem auf einem Dehnungsmesser basierenden Sensor ([Fig. 7](#)) austauschbar ist. Ein Sensorfeld **110** veranschaulicht ein Faseroptiksensorgfeld. Der Sensor kann einen Faseroptiksensorgsensor **114** mit einer mit Phosphor beschichteten Spalte **120** beinhaltet, die von einem Gel **112** (z.B. Silikongummi) umgeben ist, das in einem druckdichten Elastomerbeutel **116** untergebracht ist. In der Praxis ändern Änderungen des externen Drucks den Druck des Gels auf die Phosphorspitze **120**, und die von dem Druck abhängige Fluoreszenzabklingzeit wird durch einen Monitor **118** gemessen. Dieser Messwert kann zur Bestimmung von Druckunterschieden verwendet werden. Beispielsweise kommt ein auf Faseroptik basierendes Drucksensorgfeld des Typs Ruxtron Co.TM oder Panametrics Co.TM für die Erzielung ausgezeichneter Ergebnisse in Betracht.

[0036] [Fig. 11](#) veranschaulicht ein Flussdiagramm zur praktischen Verwirklichung der Erfindung. Beispielsweise werden in Schritt **44** nach einem Vorverdichten und Anordnen des Werkstücks **40** in dem dem Formverschluss **30** gegenüberliegenden Formhohlraum **28** wenigstens ein Berührungssensor **12**, und vorzugsweise mehrere der auf Berührung basierenden und der auf Druck basierenden Berührungssensoren, benachbart zu dem Werkstück **40** oder zu dem Formverschluss **30** angeordnet. Anschließend werden in Schritt **46** der Formverschluss **30** und das Werkstück **40** vorzugsweise langsam relativ zueinander bewegt (wobei entweder das eine oder beide bewegt werden, vorzugsweise jedoch lediglich der Formverschluss **30**), und ein Signal wird erzeugt, das anzeigt in welcher Weise der Formverschluss **30** das Werkstück **40** berührt. In dem hier verwendeten Sinne kann das Signal ein einzelnes Signal oder mehrere Signale beinhalten, von denen abhängig von dem Verwendungszweck entweder eines oder beide einem einzigen Berührungssensor **12** oder mehreren Berührungssensoren **12** zugeordnet sind.

[0037] Das Signal von Schritt **46** wird anschließend in Schritt **48** interpretiert, um, wie oben erörtert, durch herkömmliche Mittel, die manuell oder automatisch sein können, ein interpretiertes Signal hervorzubringen. Abhängig von dem interpretierten Signal (das beispielsweise eine Berührung an einem oder mehreren Punkten über die Fläche des Werkstücks **40** hinweg anzeigt) wird die Bewegung des Formverschlusses **30** auf herkömmliche Weise, wie oben erörtert, manuell oder automatisch durch Ändern einer Schließrate oder Kippen desselben geführt. Vorzugsweise werden das interpretierte Signal und die ge-

führte Bewegung in Schritt **52** mit Blick auf eine Verbesserung des Ergebnisses der Berührung zwischen dem Werkstück **40** und dem Formverschluss **30** genutzt, beispielsweise indem die Gesamtzahl der vielen unterschiedlichen Punkte erhöht wird, die einen Kontakt zwischen dem Formverschluss **30** und dem Werkstück **40** signalisieren.

[0038] Alternativ oder zusätzlich kann an dem Werkstück **40** anschließend in Schritt **54** eine Pressformung durchgeführt werden. Vorzugsweise kann dies im Wesentlichen beinhalten, dass eine seitliche Bewegung des Werkstücks **40**, insbesondere der einzelnen Schichten oder des Materials aus dem diese bestehen, während des Pressformens verhindert wird. Dies kann ferner in Schritt **74**, wie zuvor erörtert, ein Modifizieren der Temperatur des Werkstücks **40** durch herkömmliche Mittel nach einem gewünschten Temperaturzeitschema einschließen. Zusätzlich zu einer Verbesserung des Kontaktes zwischen dem Werkstück **40** und dem Formverschluss **30** während des Pressformens, kann das Signal von Schritt **46**, oder ein von dem Berührungssensor **12** erzeugtes zweites Signal, in Schritt **56** beispielsweise einen möglicherweise ebenfalls von der Temperatur des Werkstücks **40** abhängenden örtlichen Flächendruck zwischen dem Werkstück **12** und dem Formverschluss **30** anzeigen.

[0039] Das Signal oder das zweite Signal wird anschließend in Schritt **58** interpretiert, um, wie oben erörtert, durch herkömmliche Mittel, die manuell oder automatisch sein können, ein zweites interpretiertes Signal hervorzubringen. Abhängig von dem zweiten interpretierten Signal (das beispielsweise eine Berührung an einem oder mehreren Punkten über die Fläche des Werkstücks hinweg kennzeichnet, woraus sich der örtliche Druck an einer Fläche des Werkstücks **40** entnehmen lässt), wird die Bewegung des Formverschlusses **30** in Schritt **60** ebenfalls, wie oben erörtert, auf herkömmliche Weise manuell oder automatisch geführt, indem in derselben Weise wie zuvor die Verschlussrate verändert oder der Formverschluss gekippt wird. D.h., die Pressformung beinhaltet vorzugsweise ein Pressformen des Werkstücks **40** in Schritt **62** zu einem qualitativ hochwertigen Element aufgrund der verbesserten Ergebnisse der Berührung zwischen dem Werkstück **40** und dem Formverschluss **30**, d.h. im Wesentlichen ohne Falten, weitgehend vollständig dicht, weitgehend ohne Porosität, und mit bevorzugten geometrischen Güteanforderungen. Auf diese Weise ist es möglich, das gewünschte Berührungsergebnis zu erzielen, z.B. die Berührung zwischen dem Werkstück **40** und dem Formverschluss **30** zu maximieren oder trotz der Wärmeausdehnung während des Pressformens einen gewünschten Druck an der Oberfläche des Werkstücks **40** aufrecht zu erhalten.

[0040] Weiter wird in Schritt **64** alternativ oder zu-

sätzlich die gleichmäßige strukturelle Festigkeit der dem Formverschluss **30** gegenüberliegenden Oberfläche des Werkstücks **40** während des gesamten Prozesses aufrecht erhalten, so dass jede Berührung des Werkstücks **40** durch den (die) Berührungssensoren) **12** für das endgültige ausgeformte Werkstück vernachlässigbar ist. Beispielsweise kann dies in dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 6](#) durch herkömmliche Mittel erreicht werden, die zum Aufrechterhalten einer gleichmäßigen Dicke der Berührungssensoranordnung **16** in einer Umgebung im Bereich von einfachem atmosphärischen Druck bis hin zu den während des Pressformens auftretenden hohen Drücken geeignet sind. In dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 5](#) kann der Formverschluss **30** beispielsweise (nicht gezeigte) Aussparungen aufweisen, um die Kontakt-sensorfelder **14** aufzunehmen und kann ansonsten ähnlich wie in dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 6](#) ebenfalls eine gleichmäßige Dicke für die Berührungssensoranordnung **16** aufrecht erhalten.

[0041] Nachdem der Pressformungsschritt zu Ende geführt ist, wird das endgültige ausgeformte Werkstück in Schritt **66** aus der Pressform **26** entfernt. Anschließend wird vorzugsweise der bzw. die Berührungssensor (en) **12** oder die Berührungssensoranordnung **16** in Schritt **68** von dem wenigstens einen Werkstück **40** getrennt. Alternativ oder zusätzlich kann (können) der (die) Berührungssensor (en) **14** ebenfalls von dem Formverschluss **30** getrennt werden. In beiden Fällen ist der (bzw. sind die) Berührungssensor (en) **12** oder die Berührungssensoranordnung **16** vorzugsweise von Werkstück zu Werkstück wieder verwendbar, und am meisten vorzuziehen von Pressform **26** zu Pressform **26**.

[0042] Diese Erfindung lässt sich in einer unbegrenzten Vielfalt von Anwendungen sämtlicher Arten pressgeformter Vorrichtungen nutzen. Gegenwärtig werden ausgezeichnete Ergebnisse erwartet, wenn die Erfindung zur Herstellung von Flugzeugtriebwerksrotorschaufeln eingesetzt wird, die aus geschichteten Epoxidharzfolien hergestellt sind, die durch unidirektionale Kohlenstofffaserstränge verstärkt sind.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (**10**) zum Erfassen einer Berührung zwischen einer Pressform (**26**) und einem Werkstück (**40**), das in der Pressform angeordnet ist, die einen Formhohlraum (**28**) und einen in Bezug auf das Werkstück (**40**) beweglichen Formverschluss (**30**) enthält,

gekennzeichnet durch:

wenigstens eine nachgiebige Sensorplatte (**18**), die zum Signalisieren einer Berührung zwischen dem Formverschluss (**30**) und dem Werkstück (**40**) positionierbar ist, wobei wenigstens ein Berührungssensor (**12**) mehrere Berührungssensorfelder (**14**) aufweist,

die so angeordnet sind, dass sie eine Berührung zwischen dem Formverschluss (**30**) und dem Werkstück (**40**) an mehreren unterschiedlichen Punkten über einer Oberfläche des Werkstücks (**40**) signalisieren, um ein Signal (**20**) zu erzeugen, das anzeigt, wann der Formverschluss (**30**) einen Teil des Werkstücks (**40**) berührt und das den Formverschluss (**30**) auf der Basis des Signals steuert, um das Werkstück (**40**) mit dem restlichen Abschnitt des Formverschlusses (**30**) in Kontakt zu bringen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Formverschluss (**30**) in Bezug auf das Werkstück (**40**) kippt und ferner ein Pressformsteuersystem (**38**) aufweist, das eine Formschließgeschwindigkeit oder eine Kippung des Formverschlusses (**30**) auf der Basis des von dem wenigstens einen Berührungssensor (**12**) erzeugten Signals steuert.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei der wenigstens eine Berührungssensor (**12**) ferner einen Drucksensor (**84**) aufweist, und in welcher ein zweites Signal ferner einen Flächendruck zwischen dem Werkstück (**40**) und dem Formverschluss (**30**) anzeigt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der wenigstens eine Berührungssensor (**12**) ein Berührungssensorfeld aufweist, das zwischen dem Formverschluss (**30**) und dem Werkstück (**40**) positionierbar ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der wenigstens eine Berührungssensor (**12**) eine Berührungssensoranordnung aufweist, die eine nachgiebige Platte (**18**) und das Berührungssensorfeld (**14**) enthält.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei die nachgiebige Platte (**18**) ein nicht-leitendes verformbares Element aus der aus Harz, thermoplastischem Harz und Silikongummi bestehenden Gruppe aufweist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der wenigstens eine Berührungssensor (**12**) von einem Werkstück (**40**) zum nächsten wieder verwendbar ist.

8. Verfahren zum Erfassen einer Berührung zwischen einer Pressform (**26**) und einem Werkstück (**40**), das in der Pressform angeordnet ist, die einen Formhohlraum (**28**) und einen in Bezug auf das Werkstück beweglichen Formverschluss (**30**) enthält, gekennzeichnet durch:

Positionieren wenigstens einer nachgiebigen Sensorplatte (**18**), die wenigstens ein Kontaktberührungssensorfeld (**14**) enthält, um eine Berührung zwischen dem Formverschluss und dem Werkstück anzuzeigen;

Erzeugen eines Signals (**20**), das eine Berührung zwischen dem Formverschluss und dem Werkstück

anzeigt, wobei das Signal wenigstens einen Kontakt dazwischen anzeigt; und Entfernen des Werkstücks (40) aus der Form und Trennen der Sensorplatte (18) von dem Werkstück.

9. Verfahren nach Anspruch 8, welches ferner ein Interpretieren des Signals (20) aufweist, um ein interpretiertes Signal zum Führen der Bewegung des Formverschlusses (30) in Bezug auf das Werkstück (40) zu erzeugen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, in welchem das Führen der Bewegung eine Änderung einer Formschließgeschwindigkeit oder einer Kippung des Formverschlusses aufweist (30).

11. Verfahren nach Anspruch 9, welches ferner eine Verbesserung eines Berührungsergebnisses zwischen dem Formverschluss (30) und dem Werkstück (40) auf der Basis des interpretierten Signals aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, in welchem das Berührungsergebnis den Kontakt zwischen dem Formverschluss (30) und dem Werkstück (40) aufweist.

13. Verfahren nach Anspruch 12, in welchem das Berührungsergebnis ferner den Flächendruck zwischen dem Formverschluss (30) und dem Werkstück (40) aufweist.

14. Verfahren nach Anspruch 11, in welchem das Berührungsergebnis den Flächendruck zwischen dem Formverschluss (30) und dem Werkstück (40) aufweist.

15. Verfahren nach Anspruch 11, welches ferner eine Modifizierung der Temperatur des Werkstücks aufweist.

16. Verfahren nach Anspruch 11, welches ferner eine Pressformung des Werkstücks aufweist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

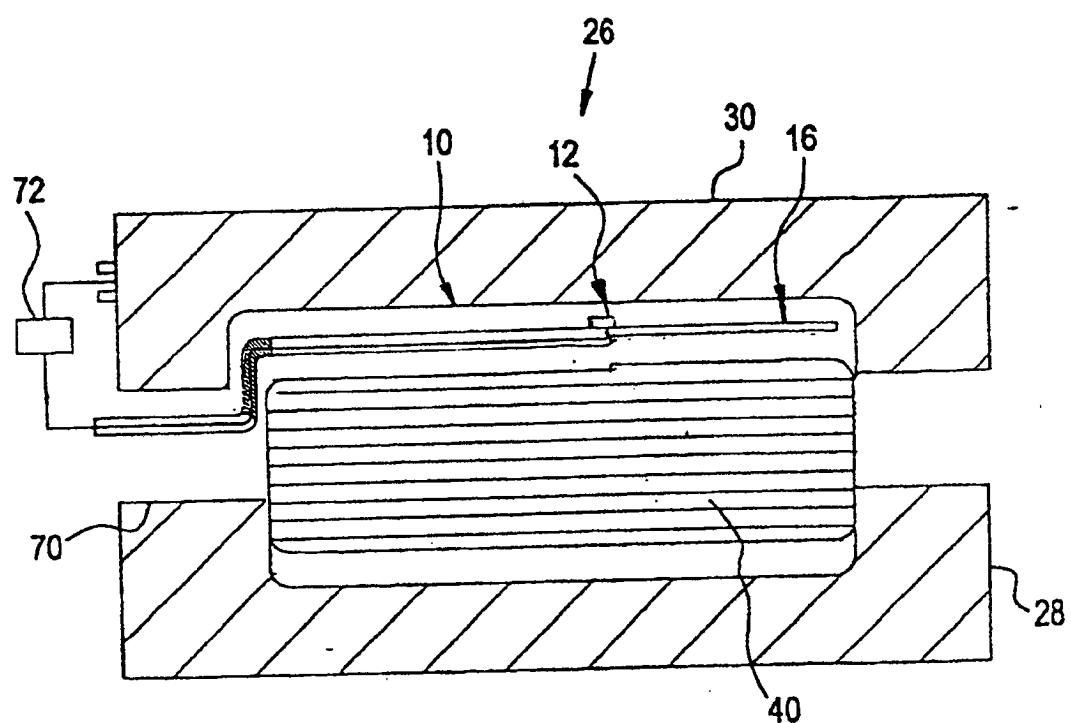


FIG. 2

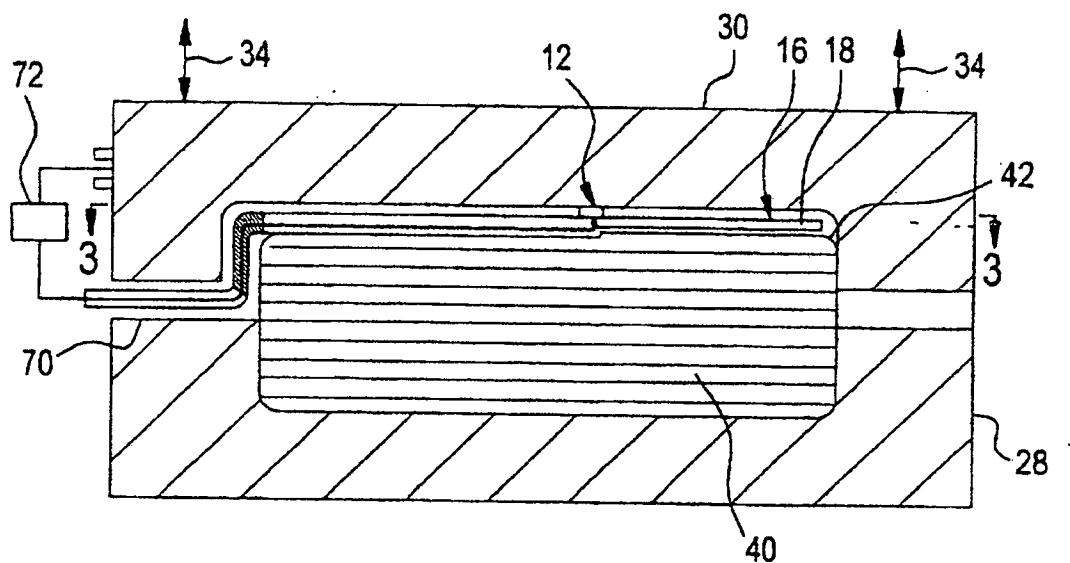


FIG. 3

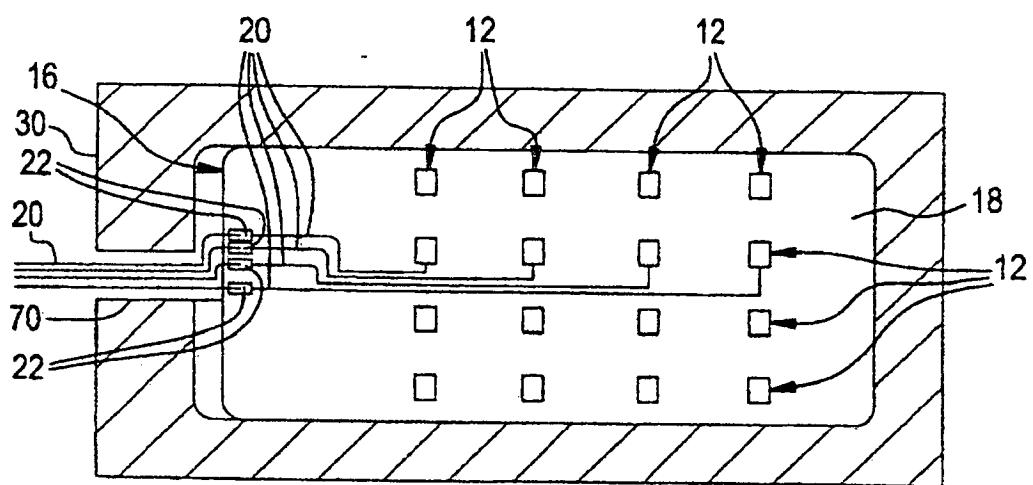


FIG. 4

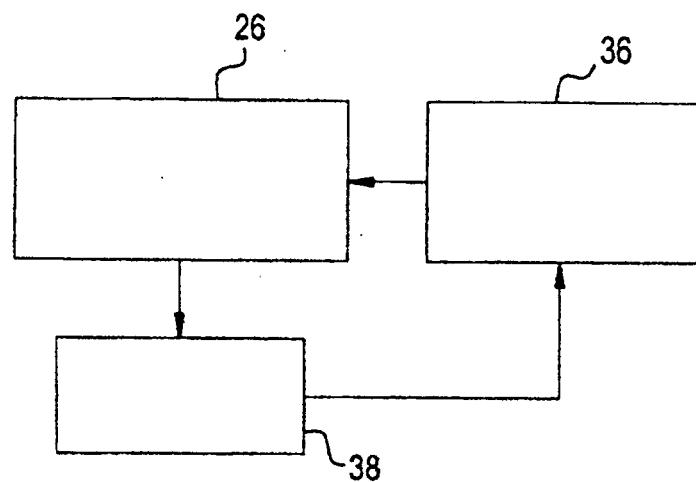


FIG. 5

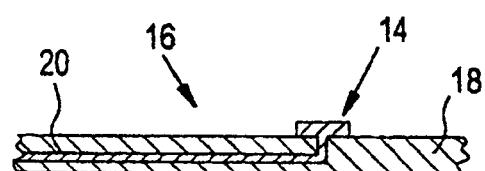


FIG. 6

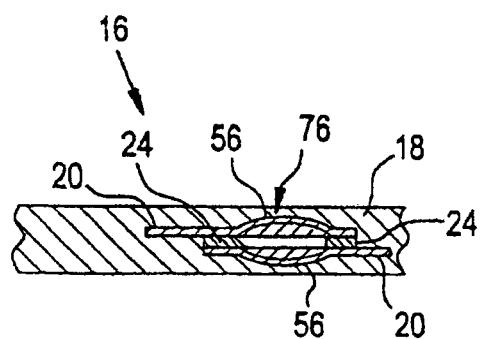


FIG. 7

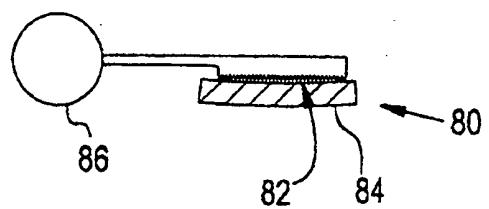


FIG. 8

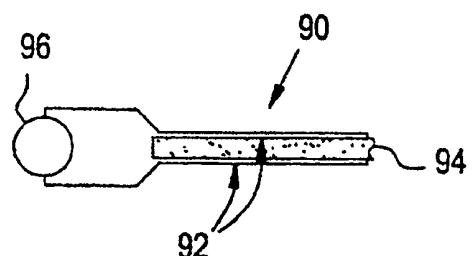


FIG. 9

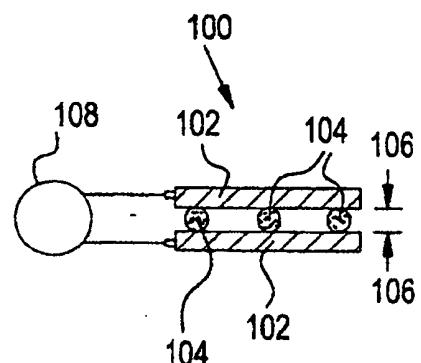


FIG. 10

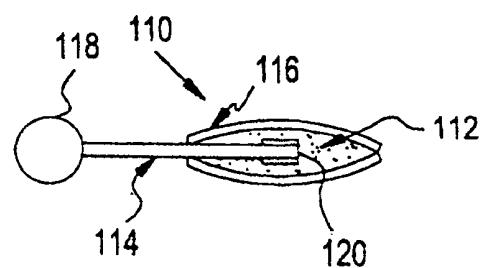


FIG. 11

