



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer : **95890082.1**

(51) Int. Cl.⁶ : **B21D 9/15**

(22) Anmeldetag : **10.04.95**

(30) Priorität : **12.04.94 AT 747/94**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung :
18.10.95 Patentblatt 95/42

(84) Benannte Vertragsstaaten :
AT BE DE FR IT NL

(71) Anmelder : **ERNE-FITTINGS GESELLSCHAFT
M.B.H. & CO.
Hauptstrasse 48
A-6824 Schlins (AT)**

(72) Erfinder : **Auer, Gerfried, Ing.
Schöneben-Ganz 3
A-8665 Ganz (AT)
Erfinder : Bitsche, Ernst, Dr.
Rätikonweg 393
A-6712 Thüringen (AT)
Erfinder : Pötsch, Alfred
Franz Reinbachergasse 1/4
A-8680 Mürrzuschiag (AT)
Erfinder : Renner, Alexander, Dr.
Ignazgasse 5/9
A-1120 Wien (AT)**

(74) Vertreter : **Weinzinger, Arnulf, Dipl.-Ing. et al
Patentanwälte
Sonn, Pawloy, Weinzinger & Wolfram
Riemergasse 14
A-1010 Wien (AT)**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Biegen von Hohlprofil-Werkstücken.**

(57) Beschrieben werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Biegen von Hohlprofil-Werkstücken (13) in einer Bogenform (12) aufweisenden Gesenk (11), wobei das Werkstück (13) mit Flüssigkeit (18) gefüllt und unter Abdichtung an seinen Enden mit Hilfe eines Preßstempels (14) der Länge nach unter Innendruck-Stützung und entgegen einer durch einen Gegenhalter (15) aufgebrachten Gegenhalterkraft in die Bogenform (12) des Gesenks (11) gepreßt wird; dabei wird/werden die Preßkraft (p_p), mit der das Werkstück (13) in bzw. durch die Gesenk-Bogenform (12) gepreßt wird, und/oder die Gegenhalterkraft (p_g) in Abhängigkeit vom Preßweg (s_p) gesteuert bzw. geregelt.

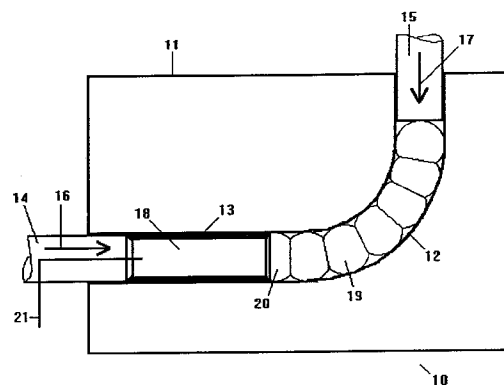


FIG. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Biegen von Hohlprofil-Werkstücken, insbesondere Rohr-Werkstücken, in einem eine Bogenform aufweisenden Gesenk, wobei das Werkstück mit Flüssigkeit gefüllt und an seinen Enden abgedichtet sowie mit Hilfe eines Preßstempels der Länge nach unter Innendruck-Stützung und entgegen einer durch einen Gegenhalter aufgebrachten Gegenhaltekraft in die Bogenform des Gesenks gepreßt wird. Weiters bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens, mit einem Gesenk, einem Preßstempel und einem Gegenhalter, der mit durch ein Spannelement zusammengehaltenen Gliedern mit gekrümmten Lagersegmenten bzw. Lagerpfannen aufgebaut ist.

Zum Biegen von Rohren werden derzeit vor allem drei grundsätzliche Arten von Verfahrenstechniken angewendet, nämlich das Verfahren mit Innendorn, auch "Hamburger Verfahren" genannt, das Verfahren mit Preßgesenk und das Verfahren mit Schwenkarmtechnik. Das Hamburger Verfahren, bei dem eine induktive Erwärmung im Biegebereich vorgenommen wird, sowie das Verfahren mit Schwenkarm und schmalzoniger Erwärmung sind Verfahren der Warmformgebung. Das Einpreßverfahren, Formen mit Preßgesenk, eignet sich ausschließlich für die Kaltformgebung.

Typisch für die im Verhältnis zum Verfahren mit Schwenkarm sehr schnellen erstgenannten Verfahren (Hamburger Verfahren und Einpreßverfahren) ist, daß der fertige Rohrbogen einen anderen Durchmesser aufweist als das ursprüngliche Ausgangrohr. Das um Größenordnungen langsamere Verfahren mit Schwenkarm und schmalzoniger Erwärmung verändert zwar nicht den Durchmesser des Werkstückes, weist aber neben der geringen Prozeßgeschwindigkeit noch andere technologische Nachteile auf, wie z.B. das ovale Einfallen der Rückenfaser und einen großen Verschnitt durch gerade bleibende Rohr-Angriffsenden für den Schwenkarm.

Es wurde sodann bereits vorgeschlagen (vgl. z.B. SU-A1-1391769), ein Rohr in einem Gesenk unter Innenabstützung durch ein flüssiges Medium zu biegen, wobei ein mit mehreren teilsphärischen Gliedern ausgeführter Gegenhalter verwendet wird. In diesem Glieder-Gegenhalter erstreckt sich mittig eine biegsame Spannstanze durch Bohrungen in den einzelnen Gliedern hindurch, und diese Spannstanze trägt an ihrem inneren Ende einen kegelstumpfförmigen Ventilkörper, der mit kegeligen Bohrungsflächen des am Rohr-Werkstück zur Anlage kommenden ersten Gliedes des Glieder-Gegenhalters zusammenarbeitet. Vor dem Biegen eines Rohr-Werkstückes wird die Spannstanze im Gegenhalter einwärts geschoben, um den Ventilkörper von den Bohrungs-Ventilflächen abzuheben und ein flüssiges Druckmittel unter einem vorgegebenen Druck dem Werkstück-Inneren zuzuführen. Beim Biegen wird dann der Ventilkörper in seine Schließstellung gebracht, und das Rohr-Werkstück wird durch die Bogenform des Gesenks gepreßt, wobei der Glieder-Gegenhalter zurückgedrängt wird. Dabei können sich jedoch während des Biegevorgangs und der zugehörigen Stauch- und Fließvorgänge im Inneren des Werkstückes unkontrolliert Drücke aufbauen, die nicht nur zu Abdichtproblemen an den Stirnseiten des Werkstückes führen, sondern überhaupt den Biegevorgang beeinträchtigen und ein unverwünschtes Fließverhalten des Werkstückes zur Folge haben können. Diese Schwierigkeiten waren offensichtlich auch der Grund dafür, daß sich diese bekannte Technik bisher in der Praxis nicht durchgesetzt hat.

Demzufolge besteht nach wie vor ein Bedarf an einem schnellen Biegeverfahren, das eine gleichmäßige, kontrollierte Umformung des Hohlprofil-Werkstückes ermöglicht und dabei den Werkstück-Durchmesser unverändert läßt (1:1 Biegeverfahren). Eine derartige Technik würde vor allem den kommerziell interessanten Markt chargenreiner Bogen erschließen, d.h. ein Auftraggeber liefert "sein" Rohr, und er erhält schließlich einen aus diesem Rohr gefertigten Bogen für seine gewünschte Applikation. Ein weiteres zu beachtendes Ziel ist die Erzeugung von später hinsichtlich Druck und Medien hoch beanspruchbarer Bogen.

Es ist somit Aufgabe der Erfindung, ein hydrostatisch-Innendruck-gestütztes Gesenkbiegeverfahren sowie eine Vorrichtung zur Verfahrensdurchführung vorzusehen, das bzw. die das Biegen von Hohlprofil-Werkstücken in rascher und genau kontrollierter Weise ermöglicht, wobei auch Werkstücke aus hochqualitativen Stählen und Sonderwerkstoffe, insbesondere auch Aluminiumwerkstoffe, verarbeitet werden können sollen, und wobei weiters insbesondere auch die Herstellung von DIN 2605/Teil II-Bogen mit starker Innenwand und dünner Außenwand nach der Berechnungsvorschrift TRD-301 (sog. Bi/Ba/Bogen) möglich sein soll, abgesehen davon, daß beim Werkstück keine Durchmesseränderung erfolgen soll.

Das erfindungsgemäße Verfahren der eingangs angeführten Art ist demgemäß dadurch gekennzeichnet, daß die Preßkraft, mit der das Werkstück in bzw. durch die Gesenk-Bogenform gepreßt wird, und/oder die Gegenhaltekraft in Abhängigkeit vom Biegeprozeß-Fortschritt und/oder vom Druck der Flüssigkeit im Werkstück-Inneren gesteuert bzw. geregelt wird/werden.

In entsprechender Weise ist die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, wie einheitlich angegeben, dadurch gekennzeichnet, daß dem Preßstempel und dem Glieder-Gegenhalter eine den Biegeprozeß-Fortschritt und/oder dem Druck der Flüssigkeit im Werkstück-Inneren erfassende Steuer- bzw. Regeleinheit, insbesondere mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung und mit einem Rechner, der Steuerventile für den druckmittelbetätigten Preßzylinder und Gegenhalter ansteuert, zugeordnet ist.

Das vorliegende Verfahren ist als 1:1-Biegeverfahren mit Innendruckstützung zu bezeichnen, und es bietet in besonders vorteilhafter Weise die Möglichkeit, aus einem angelieferten Hohlprofil-Werkstück, insbesondere einem Rohrwerkstück, beispielsweise mit elliptischem oder aber vorzugsweise kreisförmigem Querschnitt, einen Bogen anzufertigen, der denselben (Außen-)Durchmesser wie das angelieferte Ausgangs-Hohlprofil aufweist. Dabei ist auch eine Einflußnahme auf die Wanddicken insofern gegeben, als beim fertigen Bogen die Innenwand vergleichsweise stark und die Außenwand vergleichsweise dünn sein kann. Von Vorteil ist es weiters, daß es auf relativ einfache Weise möglich ist, vergleichsweise enge Bogen, mit Biegewinkeln bis zu 180°, zu erzeugen. Überdies können hohe Biegegeschwindigkeiten erzielt werden.

Für die Steuerung bzw. Regelung der Preßkraft und/oder Gegenhaltekraft sind grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten gegeben, wie etwa Steuerung des Gegenhalters und Regelung des Preßstempels in seiner Position oder Andrückkraft nach vorgegebenen, je nach Art, Größe, Material etc. des Werkstückes zu wählenden Werten, jedoch wird allgemein bevorzugt, daß der Preßzylinder bzw. der Preßstempel gesteuert wird und dabei insbesondere einen bestimmten wählbaren Weg mit einer wählbaren Geschwindigkeit zurücklegen soll, wogegen für den Gegenhalter eine Regelung vorgesehen wird. Dabei sind, wie nachstehend noch näher erläutert werden soll, ruckartige Bewegungen des Preßstempels (und ebenso des Gegenhalters) zu vermeiden. In der Folge bieten sich dann insbesondere zwei Konzepte für die Regelung des Biegeprozesses unter Regelung der Gegenhalteachse bei Ansteuerung des Preßstempels an: Zum einen ist im Zug einer Wegregelung für den Gegenhalter der vom Prozeßfortschritt (vorzugsweise dem Preßweg, d.h. dem Weg des Preßstempels) abhängige Differenzweg von Preßachse und Gegenhalteachse zugrunde zu legen, wobei die Ist-Differenz die Gesamtstauchung im Prozeß determiniert. Bei dieser Regelung geht der Prozeßparameter "Stauchung", d.h. genau genommen die Stauchung der Außenfaser des Werkstücks, direkt in den Prozeß ein, und es wird die Ventilstellung für die Gegenhalteachse (d.h. für den Gegenhaltezyylinder) so geregelt, daß die Differenz zwischen dem Preßweg und dem Gegenhalteweg der dem jeweiligen Preßweg gewünschten Soll-Differenz entspricht.

Im Fall einer sog. Druckregelung wird hingegen der Gegenhaltedruck (und somit die Gegenhaltekraft) als Regelgröße verwendet. Der Gegenhaltedruck ist, wie sich nachweisen läßt, eine Funktion des Innendrucks des flüssigen Füllmediums im WerkstückInnenen (wobei für viele Fälle sogar ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen Gegenhaltedruck und Füllmedium-Innendruck angenommen werden kann). Der Solldruck des Gegenhalters kann dabei überdies vom Prozeßfortschritt (vorzugsweise vom Preßweg) abhängen. Stellgröße ist auch hier die Ansteuerung des Gegenhalteventils. Vorteil der Druckregelung ist, daß der für die Umformung wichtige dreidimensionale Spannungszustand in der Innenfaser direkt beeinflusst werden kann. Wie nachgewiesen werden kann, ist nämlich genau genommen vielfach vor allem die Innenfaser des Werkstücks prozeßrelevant, während die Außenfaser nur bei größeren Stauchungen signifikant voneinander verschiedene Hauptspannungen besitzt. Das Druckregelungs-Konzept, mit Regelung des Gegenhaltedrucks, wird somit vor allem bei Biegeprozessen mit geringerer Stauchung anzuwenden sein, wobei anzunehmen ist, daß allgemein der Wunsch besteht, die Außenfaser des herzustellenden Werkstückbogens möglichst wenig zu stauchen.

Aus den vorstehenden Darlegungen ergibt sich bereits, daß es erfindungsgemäß besonders bevorzugt wird, zur Erfassung des Biegeprozeß-Fortschritts den zurückgelegten Preßweg, d.h. den Weg des Preßstempels bzw. des Kolbens des Preßzylinders, zu messen. Theoretisch wäre es aber auch denkbar, den Gegenhalter-Weg (d.h. die Position des Gegenhalters) für die Erfassung des Biegeprozeß-Fortschritts zu messen, und dies wird in der Praxis zumindest zu Überwachungszwecken vorzugsweise auch durchzuführen sein. Zur Wegmessung können dabei herkömmliche Wegaufnehmer, z.B. Widerstandsgeber, Ultraschallsysteme etc., eingesetzt werden. Zumindest zu Überwachungszwecken wird vorzugsweise während des Biegevorganges, wenn der Prozeßweg gemessen wird, auch der Weg des Gegenhalters, d.h. des Gegenhaltestempels bzw. der Kolbenstange des Gegenhaltezyinders, erfaßt (wobei dies bei der vorstehend erwähnten Wegregelung zur Erfassung des Differenzweges eine Notwendigkeit darstellt).

Vor allem um Abdichtungsprobleme zu vermeiden und Werkzeug sowie Werkstück zu schonen, ist es erfindungsgemäß weiters besonders vorteilhaft, wenn die Geschwindigkeit des Preßstempels in Abhängigkeit vom Preßweg von Beginn des Pressens an ruckfrei auf eine vorgegebene Maximalgeschwindigkeit hochgesteuert wird. Eine mit Hilfe einer Rechner-Steuereinheit vergleichsweise einfach zu realisierende Möglichkeit kann dabei dadurch erzielt werden, daß die Geschwindigkeit des Preßstempels entsprechend einem Polynom 5. Grades hochgesteuert wird, wodurch die Geschwindigkeit des Preßstempels sowie ihre erste und zweite Ableitung nach der Zeit stetig werden und somit die Hochsteuerung der Geschwindigkeit ruckfrei erfolgt. Polynome 5. Grades haben die Eigenschaft, Krümmungen und Steigungen von angrenzenden Kurven - z.B. Geraden - ineinander überzuführen, d.h. die Übergänge erfolgen ohne Sprünge oder Knicke. Auf diese Weise können beim Anfahren sowie beim Übergang in den eigentlichen Biegeprozeß ruckartige Bewegungen des Preßstempels (sowie gegebenenfalls des Gegenhaltestempels) sicher vermieden werden.

Wie bereits vorstehend erwähnt ist eine der bevorzugten Regelungsmöglichkeiten jene nach der (vorge-

baren) Wegdifferenz der beiden Achsen (Presse, Gegenhalter), und es ist demgemäß nach der Erfindung besonders bevorzugt, wenn die jeweilige Werkstück-Umformung, insbesondere als logarithmischer Umformgrad, aus der Wegdifferenz zwischen dem zurückgelegten Preßweg und dem Weg des Gegenhalters ermittelt wird. Dabei ist es weiters günstig, wenn durch Regelung der Bewegung des Gegenhalters relativ zum Weg des Preßstempels laufend eine vorgegebene Werkstück-Umformung eingestellt wird. Die Umformungs-Vorgabe richtet sich dabei selbstverständlich nach dem Werkstück (Größe, Material, Biegewinkel etc).

Im Fall einer geringeren Stauchung des Werkstückes ist andererseits eine Druckregelung, wie vorstehend erwähnt, von besonderem Vorteil, und im Sinne einer Steuerung bzw. Regelung von Preßstempel bzw. Gegenhalter nach einer vorgebbaren, wegabhängigen Druckkurve für den Gegenhaltedruck ist es daher zweckmäßig, wenn während des Pressens durch Regeln eines dem Gegenhalter zugeordneten Ventils die Gegenhalterkraft in jeder Preßphase auf einen - je nach Werkstück und Verformungsgrad - vorgegebenen Wert eingestellt wird.

Eine vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist weiters dadurch gekennzeichnet, daß in die Regelung der Gegenhalterkraft im Falle einer zu erwartenden bzw. beginnenden Undichtheit des Werkstück-Inneren, etwa bei Überwachung des Innendrucks und Feststellen eines 10%igen Druckabfalls, oder gegebenenfalls bei Feststellen eines Anstiegs in der zeitlichen Ableitung des logarithmischen Umformgrades (wenn also der Abstand Preßstempel zu Gegenhalter nicht mehr streng monoton schrumpft), ein durch eine Zeitkonstante von höchstens $\tau = 50$ ms beschreibbarer, schneller, übergeordneter Regeleingriff erfolgt, um die Abdichtung sicherzustellen. Ein derartiger schneller Regeleingriff im Falle eines Druckabfalls oder einer Dehnung oder Rückverformung des Werkstückes, wobei es zu einem "Abheben" des Preßstempels oder aber insbesondere des Gegenhalters vom Werkstück kommen kann, insbesondere bei einem Festklemmen des Werkstückes im Gesenk, ist eine zusätzliche Sicherheitsmaßnahme, wobei der Gegenhalter rasch gegen das Werkstück gedrückt wird. Es haben jedoch in der Praxis Versuche gezeigt, daß normalerweise - im Fall einer ausreichenden Schmierung des Werkstückes im Gesenk - ein derartiger Regeleingriff nicht erforderlich ist.

Anders als bei der bekannten Technik, bei der wie einleitend dargelegt die für die Innendruckstützung erforderliche Flüssigkeit durch den Glieder-Gegenhalter hindurch in das Werkstück-Innere zugeführt wird, ist es beim erfindungsgemäßen Verfahren besonders günstig, daß das Werkstück vor dem Schließen und Druckbeaufschlagen des geteilt ausgeführten Gesenks mit der Flüssigkeit gefüllt werden kann, wobei es nach dem Schließen und Druckbeaufschlagen, unmittelbar vor dem Pressen, durch Anlegen des Preßstempels und des Gegenhalters abgedichtet wird. Dabei ist es weiters einfach möglich, daß das Werkstück durch Einleiten von Flüssigkeit in eine das Gesenk umgebende abgedichtete Wanne mit der Flüssigkeit gefüllt wird, wobei das Werkstück gänzlich von der Flüssigkeit bedeckt wird. Weiters ist es günstig, wenn zum Abdichten des Werkstückes der Preßstempel und der Gegenhalter mit geringer Geschwindigkeit, z.B. 0,5 mm/s, aufeinander zu bewegt werden, bis ein vorgegebener Druck der Flüssigkeit im Werkstück-Inneren oder aber eine vorgegebene Gegenhalterkraft - im Fall von starkwandigen Werkstücken - erreicht wird, worauf das Pressen eingeleitet wird. Für den Biegeprozeß ist es ferner vorteilhaft, wenn die vorgegebene Gegenhalterkraft, bei deren Erreichen das Pressen eingeleitet wird, als Gegenhalterkraft zumindest in der ersten Phase des Pressens beibehalten wird.

Eine vorteilhafte Ausführungsform ist weiters dadurch gekennzeichnet, daß bei der Herstellung von Bogen mit Schenkelverlängerungen in Form von geraden Anschlußstücken als Sollwert der Gegenhalterkraft während jener Prozeßphase, in der der bereits gebogene, Gegenhalter-seitige Teil des Werkstückes in einen Gegenhalter-seitigen, an die Bogenform anschließenden geraden Teil des Gesenks einläuft, wobei eine Rückbiegung in Sinne einer nicht-homogenen Umformung stattfindet, ein erhöhter Wert, z.B. im Vergleich zur Gegenhalterkraft während des vorhergehenden Prozesses ein 2- bis 4-facher Wert, vorgesehen wird, der abhängig von der Wandstärke und vom Material des Werkstückes eine Abdichtung ermöglicht. Auf diese Weise kann einfach einem etwaigen Abheben des Gegenhalters vom Werkstück bei dessen Zurückbiegen aus der vorher erzielten Bogenform wieder in eine gerade Form entgegengewirkt werden.

Im Hinblick auf die Stabilität der Verformung und die Minimierung des Verschnittes des Werkstück-Materials hat es sich weiters als günstig erwiesen, wenn das Ausgangs-Werkstück an den Enden mit Schrägschnitten versehen wird, deren Winkel zur Werkstückachse größer als 70° ist, vorzugsweise 75° bis 85° beträgt.

Wie sich bereits aus den vorstehenden Erläuterungen ergibt, kommt bei der erfindungsgemäßen Technologie vor allem der Abdichtung des Werkstückes während des Biegeprozesses eine besondere Bedeutung zu, und um hier etwaige Abdichtungsprobleme, wie sie bei der einleitend erwähnten bekannten Technik mit der Flüssigkeitszufuhr durch den Glieder-Gegenhalter auftreten können, zu vermeiden, ist es erfindungsgemäß von Vorteil, wenn der Glieder-Gegenhalter bleibend flüssigkeitsdicht ausgeführt ist, wobei vorzugsweise der Preßstempel mit einer Verbindungsbohrung zur Überwachung des Drucks der Flüssigkeit im Werkstück-Inneren und/oder zur Füllung des Werkstücks mit Flüssigkeit versehen ist.

Für eine möglichst geringe Pressung der Gegenhalter-Glieder am Gesenk ist eine möglichst hohe Anzahl von Gegenhalter-Gliedern zweckmäßig, und überdies ist es von Vorteil, wenn die Lagerpfannen der Gegen-

halter-Glieder eine Krümmung aufweisen, die geringfügig, z.B. um 1% bis 4%, insbesondere 3%, kleiner ist als die Krümmung der Lagersegmente.

Es sei hier erwähnt, daß es an sich aus der US-A-4 542 637 bekannt ist, Lagerschalen mit einem größeren Radius, verglichen mit jenem von in diesen Lagerschalen aufgenommenen segmentierten Kugeln bei Gliederdornen vorzusehen. Dabei handelt es sich jedoch um in das Innere von bereits gebogenen Rohren einzuführende Gliederdorne, wobei nur beschränkt Kräfte aufzunehmen sind, und die Kugeln sind deshalb segmentiert, damit sie in die hinterschnittenen Lagerschalen eingesetzt werden können, wobei die Segmente im zusammengesetzten Zustand mittels eines Sicherheitsringes in den Lagerschalen gehalten werden.

Erfindungsgemäß ist es schließlich auch vorteilhaft, wenn für die Herstellung von zur Gänze torusförmigen Rohrbogen, d.h. Rohrbogen ohne zylindrische Schenkelverlängerungen, der Winkel der Rohrbogenform des Gesenks um mindestens 5°, vorzugsweise um 10° bis 20°, größer ist als der Winkel der herzustellenden Bogen. Auf diese Weise kann eine homogene Verformung bei der Bogenherstellung sichergestellt werden, d.h. die Richtung der Relativbewegung der Materialpunkte zueinander bleibt während der Verformung gleich. Diese Ausbildung minimiert somit auch den Verschnitt, d.h. es müssen keine sonst notwendigen geraden Schenkelverlängerungen abgeschnitten werden.

Die Erfindung wird nun nachstehend anhand von besonders bevorzugten, nicht einschränkenden Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert. Es zeigen:

Fig.1 eine nicht maßstäbliche Prinzipskizze einer Vorrichtung zum Biegen von Rohrwerkstücken;

Fig.2 schematisch ein Ausgangswerkstück mit übertrieben schräg zugeschnitten veranschaulichten Stirnflächen sowie das hieraus hergestellte Bogen-Endprodukt, wobei auch kurze Schenkelverlängerungen gezeigt sind;

Fig.3 in einer Schnittdarstellung einen Glieder-Gegenhalter, der mit ineinander gelagerten teilsphärischen Kraftumlenk-Gliedern aufgebaut ist;

Fig.4 ein vereinfachtes kombiniertes Hydraulik- und Elektronik-Steuerschema der Biegevorrichtung;

Fig.5 ein Schema zur Illustration der Aufgabenteilung zwischen den einzelnen Komponenten der Vorrichtung, unter Veranschaulichung der Maschinenhardware, einer speicherprogrammierbaren Steuerung sowie eines Rechners;

Fig.6 ein Schema, das den Ablauf des Biegeprozesses und die Aufgabenteilung zwischen dem Rechner und der speicherprogrammierbaren Steuerung schematisch veranschaulicht;

Fig.7 in einem Schema die Steuerung bzw. Regelung von Presse bzw. Gegenhalter nach einer vorgebbaren Wegdifferenz zwischen Presse und Gegenhalter;

Fig.8 in einem entsprechenden Schema die Steuerung bzw. Regelung von Presse bzw. Gegenhalter nach einer vorgebbaren, wegabhängigen Druckkurve für den Gegenhaltdruck;

Fig.9 in einem Diagramm die Vorgabe der Preßgeschwindigkeit über der Zeit, wobei die Preßgeschwindigkeit ungefähr der Ventilstellung des Ansteuerventiles für den Preßzylinder entspricht;

die Fig.10 in vier Diagrammen A, B, C und D verschiedene Kurven bzw. Meßwerte während eines Biegeprozesses an einem konkreten, beispielhaften Werkstück, wobei im Diagramm Fig.10A die verschiedenen Drücke, im Diagramm Fig.10B die verschiedenen Wege bzw. Positionen der Druckzylinder, im Diagramm der Fig.10C verschiedene Vorgabefunktionen bzw. Regelgrößen und im Diagramm der Fig.10D die Ventilansteuerungen für den Preßzylinder bzw. Gegenhaltezyylinder veranschaulicht sind; und

Fig.11 ein Diagramm, das - in Entsprechung zur Darstellung in Fig.10C - die Regelung der Gegenhalterachse nach der Wegdifferenz veranschaulicht.

In Fig.1 ist nur ganz schematisch eine allgemein mit 10 bezeichnete Vorrichtung zur Durchführung eines innendruckgestützten Rohrbiegeverfahrens veranschaulicht. Die Vorrichtung 10 enthält dabei ein in der Zeichenebene geteiltes Gesenk 11, das eine entsprechende Bogenform 12 aufweist. In diese Form oder diesen Formhohlraum 12 wird das jeweilige Werkstück 13 eingelegt, welches anfänglich z.B. ein gerades Rohr-Werkstück ist. Dieses Werkstück 13 kann dabei einen kreisförmigen, aber auch elliptischen Querschnitt haben, und im Prinzip sind auch andere, gerundete Querschnittsformen denkbar, sodaß, wenn hier nachfolgend der Einfachheit halber von Rohr-Werkstücken gesprochen wird, dies nicht einschränkend, sondern nur beispielhaft zu verstehen ist.

Zum Einbringen der Biegearbeit sind sodann ein Preßstempel 14 sowie ein Gegenhalter 15 vorgesehen, wobei mit Pfeilen 16 bzw. 17 die Preßkraft bzw. Gegenhaltekraft schematisch veranschaulicht sind. Für den Biegevorgang wird das Werkstück 13 innen mit einem flüssigen Stützmedium, kurz Flüssigkeit, gefüllt, wie in Fig.1 bei 18 veranschaulicht ist, und das Werkstück 13 muß an seinen Stirnseiten für den Biegevorgang durch den Preßstempel 14 bzw. durch den Gegenhalter 15 abgedichtet werden. Der Gegenhalter 15 ist weiters mit Kraftumlenkelementen in Form von teilsphärischen Gliedern 19, 20 aufgebaut, die die Aufgabe der Kraftübertragung (Gegenhaltekraft) und der Abstützung im Gesenk 11 haben, wobei diese Gegenhalter-Glieder 19, 20 im Falle eines z.B. elliptischen Werkstückquerschnitts anstatt kugelförmig ellipsoidförmig auszubilden wären.

Das vorderste Gegenhalter-Glied 20 ist, mit einer aus Fig.1 und 3 ersichtlichen Schulter ausgeführt, um ein Klemmen und Abdichten an der vorderen Stirnseite des Werkstücks 13 sicherzustellen.

Mit 21 ist schließlich noch in Fig.1 ein Kanal (mit sich im Inneren des Preßstempels 14 fortsetzender Bohrung) für die Innendruckmessung und gegebenenfalls Innendrucksteuerung veranschaulicht, wobei durch diesen Kanal 21 auch das flüssige Stützmedium 18, insbesondere mit Hilfe einer nicht näher veranschaulichten Pumpe, in das Innere des Werkstücks 13 gefördert werden kann.

Vorzugsweise dient jedoch der Kanal 21 nur zur Innendruckmessung, wogegen das Werkstück 13 vor dem Schließen des Gesenks 11 dadurch mit der Flüssigkeit 18, vorzugsweise Wasser, gefüllt wird, daß das Gesenk 11 insgesamt in der Flüssigkeit - in einer nicht näher gezeigten Wanne - angeordnet und "geflutet" wird.

In Fig.2 ist schematisch das Ausgangs-Werkstück 13, mit der Achse 22, veranschaulicht, welches in der Form 12 (Fig.1) des Gesenkes 11 (Fig.1) zu einem Rohrbogen 23 gebogen wird. Dieser Rohrbogen 23 besitzt gemäß Fig.2 beispielsweise vordere und hintere geradlinige Schenkelverlängerungen 24 bzw. 25. Die Achse 26 des Endproduktes, d.h. des Rohrbogens 23, verläuft beispielsweise unter 90° zur Achse 22 des Ausgangs-Werkstückes 13, wobei ein Biegeradius 27 des Endproduktes 23 gegeben ist.

Das Ausgangs-Werkstück 13 ist an seiner vorderen Stirnseite sowie an seiner hinteren Stirnseite schräg zugeschnitten, wobei in Fig.2 die Zuschnittswinkel mit 28 bzw. 29 bezeichnet sind. Diese Zuschnittswinkel 28, 29 können durchaus verschieden sein und haben unter anderem den Vorteil, daß eine hohe Stabilität bei der Verformung sowie ein minimaler Verschnitt ermöglicht werden. Vorzugsweise betragen diese Rohr-Zuschnittswinkel 28, 29 70° bis 85°, insbesondere 75°. Sind bloße 90°-Bogen 23 herzustellen, d.h. ohne Schenkelverlängerungen 24, 25, so ist es vorteilhaft, den Gesenkwinkel größer als 90° vorzusehen, wobei der Gesenkwinkel der Winkel zwischen der Ausgangsprodukt-Achse 22 und der Endprodukt-Achse 26 ist, gemessen auf der von der Zuführseite abgelegenen Seite, wie in Fig.2 bei α veranschaulicht ist. Dieser Gesenkwinkel α kann beispielsweise von 100° bis 120° gewählt werden und sichert auf diese Weise eine homogene Verformung beim Biegen. Beim fertigen Rohrbogen 23 können dann etwaige zu weit abgegebene Enden abgeschnitten werden.

Bevor nun die vorliegende Biegetechnik weiter erläutert wird, sollen noch einige theoretische Überlegungen vorangestellt werden, um das Verständnis der vorliegenden Technik beim Biegen zu erleichtern.

In der Theorie der plastischen Verformung wird mit

$$\sigma_m = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) / 3$$

der hydrostatische Spannungsteil angegeben, wobei die Spannungen σ_x , σ_y und σ_z die Hauptspannungen sind. Die nach Mises als Fließkriterium geltende Formänderungsfestigkeit k_f ergibt sich zu

$$k_f = \sqrt{3/2} \cdot \sqrt{(\sigma_x - \sigma_m)^2 + (\sigma_y - \sigma_m)^2 + (\sigma_z - \sigma_m)^2}.$$

In den Hauptspannungsrichtungen x, y, z werden die Umformgrade wie folgt definiert:

$$\varphi_x = \ln(x(t)/x_0)$$

$$\varphi_y = \ln(y(t)/y_0)$$

$$\varphi_z = \ln(z(t)/z_0)$$

wobei x_0 , y_0 und z_0 Bezugs- oder Ausgangswerte sind. Weiters gilt wegen der Konstanz des Volumens:

$$\varphi_x + \varphi_y + \varphi_z = 0$$

Die Vergleichsformänderung bei Bruch (d.h. die Bruchformdehnung) ergibt sich weiters wie folgt:

$$\varphi_B = 2/3 \cdot \varphi_x^2 + \varphi_y^2 + \varphi_z^2 = \varphi_B(\sigma_m/k_f)$$

und zwar in Abhängigkeit vom hydrostatischen Spannungsanteil bezogen auf die Formänderungsfestigkeit k_f . Es ergibt sich dabei, daß ein allseitiger Druck zu erzwungenen Ordnungsprozessen im Gefüge des Materials führt.

Beim Biegen kann unter der Annahme, daß der Spannungszustand im Werkstück innerhalb der Rohrwand nicht variiert, für die Spannung σ_r in radialer Richtung angenommen werden

$$\sigma_r = -p_i,$$

wobei p_i der Druck der Flüssigkeit 18 im Werkstück-Inneren ist. Die mittlere Spannung (hydro-statischer Spannungsanteil σ_m) ergibt sich für die Bogeninnenfaser wegen der Unveränderlichkeit des Durchmessers (azimutaler Umformgrad $\varphi_a = 0 \Rightarrow$ Azimutalspannung $\sigma_a = \sigma_m$ laut Fließgesetz)

$$\sigma_m = (\sigma_r + \sigma_z)/2,$$

wobei σ_z die axiale Spannung im Rohrstück ist. Wegen der Stauchung der Innenfaser des Werkstückes 13 gilt

$$\sigma_z < \sigma_r,$$

und es ergibt sich ferner

$$\sigma_z = -(p_i + (2/\sqrt{3}) \cdot k_f).$$

Weiters läßt sich auch zeigen, daß für die Gegenhalterkraft F_g bei Integration über alle Fasern des Rohrquerschnitts A_R ungefähr gilt:

$$F_g \approx p_i \cdot A + (A_R/\sqrt{3}) \cdot k_f$$

wobei A = der Kreisquerschnitt des Rohres ist.

Insgesamt ist somit festzuhalten, daß mit einer Erhöhung des Innendruckes p_i auch die mittlere Spannung

$$\sigma_m = -(p_i + k_f/\sqrt{3})$$

und damit letztlich die mögliche Bruchdehnung φ_B erhöht werden kann. Daraus folgt aber auch, daß der Biegeprozeß für größer werdende Umformgrade (Stauchungen) stabil gehalten werden kann, da damit auch eine zusätzliche Kompression des Stützmediums (Flüssigkeit) und daher eine Erhöhung von p_i erfolgt. Dies führt in weiterer Folge dazu, daß der Biegeprozeß auch bei problematischen Werkstoffen, insbesondere Aluminiumwerkstoffen, mit Sprödbbruchneigung und von vorneherein kleinen Bruchdehnungen stabil gehalten werden kann. Praktische Versuche haben dies auch bestätigt.

Eine besondere Beachtung ist bei der vorliegenden Biegetechnologie auch der Ausbildung des Glieder-Gegenhalters 15 zu schenken, und zu dessen näherer Erläuterung wird insbesondere auf die Darstellung in Fig.3 verwiesen.

Wesentlich für die Belastung der Gegenhalter-Glieder 19, 20 sowie auch des Gesenks 11 (Fig.1) ist die radiale Kraft, mit der sich die Kraftumlenkelemente, d.h. Gegenhalter-Glieder 19, 20, im Gesenk 11 abstützen. Diese radiale Kraft steht naturgemäß in direktem Zusammenhang mit der Gegenhalterkraft F_g , siehe Pfeil 17 in Fig.1 und 3, und aus der Theorie der Hertz'schen Pressung läßt sich auch herleiten, daß bleibende Verformungen aufgrund der Auflagepressung umso später, d.h. bei umso höheren Werten erst, auftreten, je mehr Umlenkelemente bzw. Gegenhalter-Glieder 19, 20 vorhanden sind, abgesehen davon, daß hier selbstverständlich auch der Biegeradius in die Beziehung mit eingeht. Je dichter somit die Umlenkelement-Folge ist (und je größer die Biegeradien sind), umso günstiger ist dies für die Durchführung des Biegeprozesses sowie für den dabei auftretenden Verschleiß.

Gemäß Fig.3 sind die Gegenhalter-Glieder 19, 20 mit Hilfe eines Spannelements in Form eines Stahlseils 30 zusammengehalten, das am Dichtglied 20 mit Hilfe eines dicht in eine Bohrung 31 desselben eingesetzten, angeschmiedeten Bolzens oder dergl. 32 befestigt ist, sich durch Bohrungen 33 mit erweiterten Bohrungen in den übrigen Gegenhalter-Gliedern 19 (die im wesentlichen untereinander ident ausgebildet sind) erstreckt und schließlich mit Hilfe eines lösbaren Spannmechanismus 34 in einem Gegenhalterkörper 35 fixiert ist. Der Spannmechanismus 34 dient dazu, ein Lösen des gesamten Gegenhalters 15 zu ermöglichen, sowie insbesondere auch zum Ausgleich von Seilbewegungen (da sich die Länge des Spannseils 30 mit der Position des gesamten Gegenhalters 15 im Gesenk ändert). Der Gegenhalterkörper 35 kann mit der Kolbenstange des in Fig.3 nicht näher veranschaulichten Gegenhaltezyinders 36 (s. Fig.4) verbunden sein oder aber einen Teil dieser Kolbenstange bzw. die Kolbenstange selbst bilden.

Der Spannmechanismus 34 weist einen fest mit dem Spannseil 30 verbundenen, mit einem Gewindeabschnitt 37' versehenen Bolzen 37 auf, der in einer Mutter 38 eingeschraubt ist, die mit ihrer Unterseite gegen eine starke Schraubenfeder 39 anliegt, die sich an einer Schulter 40 in der Bohrung 41 des Gegenhalterkörpers 35 abstützt.

Die Gegenhalter-Glieder 19, 20 sind mit Lagersegmenten 42 bzw. Lagerpfannen 43 ausgebildet, die im vorliegenden Beispiel teilsphärisch sind, wobei die Krümmung der Lagerpfannen 43 geringfügig, um z.B. 1% bis 4%, insbesondere um 3%, kleiner ist als die Krümmung der Lagersegmente 42. Dadurch wird im Betrieb eine feste, elastische Abstützung der Glieder 19, 20 aneinander sichergestellt.

Das vorderste Gegenhalter-Glied 20 ist als Dichtglied zur Abdichtung des in Fig.3 nicht näher veranschaulichten Rohr-Werkstückes 13 (Fig.1) wie erwähnt mit einer Schulter ausgestaltet. Es sei darauf hingewiesen, daß bevorzugt auch an der Stirnseite des Preßstempels 14 gemäß Fig.1 ein Dichtglied ähnlich dem Gegenhalter-Dichtglied 20 in einer Pfanne eingesetzt wird, wobei jedoch in der in Fig.1 schematisch gezeigten Ausführungsform der Preßstempel 14 eine Abdichtung am Werkstück nur über einen aus Fig.1 ersichtlichen Absatz - ähnlich der Schulter am Dichtglied 20 - bewerkstelligt.

Die beiden Enden des Spannseiles 30 können in an sich üblicher Weise mit dem jeweils zugehörigen zylindrischen Teil 31 bzw. 37 zusammengeschnitten sein, um die jeweilige Befestigung zu ermöglichen.

Gemäß dem Hydraulikschema von Fig.4 pumpt eine Motor-Pumpen-Einheit 46 über ein Rückschlagventil 47 Hydraulikmedium aus einem Reservoir 48 und über Steuerventile 49, 50 und 51 zu den jeweiligen Druckmittellyndern 52, 53 bzw. 36, bei denen es sich um den Schließzylinder (Zylinder 52) für das Gesenk 11, den Preßzylinder für den Preßstempel 14 (Zylinder 53) sowie den Gegenhaltezyylinder 36 handelt. Der Pumpeneinheit 46 mit dem Rückschlagventil 47 parallelgeschaltet ist ein beispielsweise auf 300 bar eingestelltes Druckbegrenzungsventil 54. Bei der Pumpen-Einheit 46 handelt es sich z.B. um eine mengensteuerbare Hydraulikpumpe. Weiters ist im Schema von Fig.4 die Hydrauliköl-Speiseleitung mit 55 und die Rückleitung mit 56 bezeichnet.

In Fig.4 ist sodann eine elektronische Steuer- bzw. Regeleinheit 57 nur ganz schematisch veranschaulicht, wobei diese Einheit 57 insbesondere die Funktion der Ansteuerung der Steuerventile 50, 51 für den Preßzylinder 53 bzw. für den Gegenhaltezyylinder 36 zukommt, wie nachstehend noch näher erläutert werden wird,

und wie in Fig.4 schematisch mit Steuerleitungen 58, 59 angedeutet ist.

Hinsichtlich der Steuerventile 50, 51 ist bei der Auswahl zu berücksichtigen, daß einerseits eine genügend hohe Geschwindigkeit erzielt wird, um Störungen, wie z.B. Undichtheitsphasen im zu biegenden Werkstück 13, abzufangen, andererseits aber die Ventile langsam genug sind, um die zeitlich diskreten Stellbefehle der Elektronik noch zu integrieren. Besonders ungünstig würde sich im Regelkreis ein stärkerer Phasenfehler auswirken, wie ihn normale Proportionalventile aufweisen, was anhand von praktischen Versuchen festgestellt worden ist. Gute Erfolge konnten hingegen bei Realisierung der Steuerventile 50, 51 mit handelsüblichen vorgesteuerten Ventilen (Servoventilen), z.B. von den Herstellern Bosch, Rexroth oder Moog, erzielt werden, bei denen eine Zeitkonstante im Bereich von 50 ms oder besser vorliegt und keine einen Phasenfehler in die Regelung einführende Totzeit gegeben ist.

In Fig.5 ist schematisch die Steuer- bzw. Regeleinheit 57 veranschaulicht, die mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS), bei 60 gezeigt mit entsprechendem Programm, sowie mit einem Rechner, etwa einem Industrierechner oder Personalcomputer, bei 61 gezeigt, ausgeführt ist. Weiters ist im Schema von Fig.5 bei 62 die maschinenseitige Hardware schematisch veranschaulicht, die abgesehen von den Steuerventilen 50, 51 für den Preßzylinder bzw. Gegenhaltezyylinder auch verschiedene Meßfühler, insbesondere Wegaufnehmer 63 bzw. 64 für die Positionserfassung des Preßzylinders (Weg s_p) sowie des Gegenhaltezyinders (Weg s_g) und weiters Druckwandler 65, 66 und 67 für die Messung des Drucks im Werkstück-Inneren (Innendruck p_i), des Drucks im Preßzylinder (Druck p_p) und des Drucks im Gegenhaltezyylinder (Druck p_g) umfaßt. Die Wegaufnehmer 63, 64 können z.B. mit Widerstandsgebern oder Ultraschallsystemen realisiert werden, und sie geben ihre Ausgangssignale an den Rechner 61 sowie bevorzugt auch an die SPS 60 ab.

Die zur Druckmessung vorgesehenen Druckwandler können im Fall der Druckmessung am Preßzylinder bzw. Gegenhaltezyylinder durch Piezowandler und im Fall der Innendruckmessung durch Dehnmeßstreifenwandler gebildet sind, und sie geben ihre Ausgangssignale an den Rechner 61 ab.

Dem Rechner 61 ist weiters eine zur Kommunikation Mensch-Maschine, insbesondere zum Einstellen aller relevanten Parameter, dienende, nur ganz schematisch gezeigte Eingabe-Anzeige-Einheit 68 zugeordnet, und weiters ist eine ebenfalls nur schematisch veranschaulichte Datenverwaltungseinheit 69 vorgesehen. Ferner sind bei 70 ein Bus für die Kommunikation Maschine-Steuerung, und zwar zur SPS 60, betreffend elektronische Schalt- und Meßeinrichtungen sowie Motoren und steuerbare Ventile, wobei digitale und analoge Ein- bzw. Ausgänge umfaßt sind, sowie weiters ein Bus 71 zwischen Rechner 61 und SPS 60 zur Kommunikation Steuerung-Rechner mittels Rechnerschnittstelle (z.B. RS 232), zwecks Datenerfassung und -übermittlung, Visualisierung sowie zwecks Eingriffs in die SPS 60, veranschaulicht.

Wie überdies aus Fig.5 ersichtlich ist, werden die Steuerventile 50, 51, bei denen es sich außer um schnelle vorgesteuerte Ventile auch um Servoventile handeln kann, vom Rechner 61 direkt angesteuert, und andererseits gelangen die Druckmeßwerte (Druckwandler 65, 66 und 67) direkt - selbstverständlich über eine nicht näher veranschaulichte Analog/Digital-Wandlereinheit - zum Rechner 61. Die Aufgabenteilung zwischen SPS 60 und Rechner 61 beim Prozeßablauf ist schematisch in Fig.6 veranschaulicht, wobei der Biegeprozeß-Ablauf mit entsprechender Aufgabenteilung wie in den einzelnen Blöcken in Fig.6 angedeutet beispielsweise wie folgt sein kann:

- | | |
|-----------------|--|
| 72: SPS 60: | Startfreigabe, Füllen einer das Gesenk 11 enthaltenden Wanne mit Flüssigkeit |
| 73: Rechner 61: | Preßstempel 14 und Gegenhalter 15 zufahren (Ansteuern der Ventile 50, 51) |
| 74: SPS 60: | Gesenk 11 schließen (Zylinder 52 in Fig.5), Schließkraft aufbauen |
| 75: Rechner 61: | Dichtprozeß: Preßstempel 14 und Gegenhalter 15 auf Position und/oder Druck |
| 76: Rechner 61: | Harmonischer Übergang im Preßprozeß (Preßstempel 14) gemäß Geschwindigkeitsvorgabe (s. Fig.10) |
| 45 | Gegenhalter 15: Druck- oder Wegregelung, eventuell Innendrucküberwachung des Gegenhalterreglers |
| 77: SPS 60: | Gesenk 11 entlasten |
| 50 | 78: Rechner 61: Dekomprimierung des Werkstückes 13 durch Rückzug des Preßstempels 14 und des Gegenhalters 15; die Dichtelemente (Preßstempel 14: Stempel oder Stempelkugel; Gegenhalter 15: Stempelkugel) werden dabei vom Werkstück 13 gelöst |
| 79: SPS 60: | Gesenk 11 öffnen, Wanne leeren |
| 80: Rechner 61: | Rückzug des Preßstempels 14 auf Einlegeposition; Vorwärtsbewegung des Gegenhalters 15 auf Einlegeposition, dabei gleichzeitiges Lösen des Werkstückes 13 vom Gesenk 11 und Ausstoßen des fertigen Bogens 23. |
| 55 | |

Diese einzelnen Verfahrensschritte oder Prozeßstufen 72 bis 80 sind auch im Diagramm von Fig.10D für die Ventilansteuerungen (Steuerventil 50 für den Preßzylinder und 51 für den Gegenhaltezyylinder) veranschaulicht.

licht, wobei die entsprechenden Prozeßphasen auch in den übrigen Diagrammen A bis C von Fig.10 mit den entsprechenden vertikalen Linien angedeutet sind.

Es ergibt sich somit, daß die Hilfsfunktionen beim Prozeßablauf von der SPS 60 übernommen werden, die schnellen, prozeßrelevanten Funktionen hingegen beim Rechner 61 liegen. Prozeßmaster ist dabei immer der Rechner 61.

Für den Prozeßverlauf ist insbesondere auch der Zeitpunkt des Überganges vom Abdichten des Werkstückes 13 zum Pressen von Bedeutung. Hiefür können die folgenden alternativen Verfahrenskonzepte gewählt werden:

- a) Zufahren von Preßstempel 14 und/oder Gegenhaltestempel 15 auf die vorgegebene Position; bei Erreichen der vorgegebenen Positionen wird im Verfahrensablauf weitergeschaltet;
- b) Zufahren von Preßstempel 14 und/oder Gegenhaltestempel 15 mit einer konstanten, wählbaren Geschwindigkeit v , bis ein bestimmter, vorgebbarer Innendruck p_i oder aber Gegenhaltedruck p_g (der wie vorstehend erwähnt eine Funktion des Innendrucks p_i ist) erreicht wird;
- c) Kombination von a und b: Auf Position fahren, dann weiterschalten;
- d) Preßstempel auf vorgegebene Position fahren und dort einregeln, Gegenhaltestempel 15 in Abhängigkeit vom Innendruck p_i oder Gegenhaltedruck p_g regeln; Weiterschalten bei Erreichen des Sollendrucks für den Innendruck p_i oder den Gegenhaltedruck p_g .

Bevor nun anhand der Fig.7 und 8 zwei bevorzugte Regelungsmöglichkeiten (Differenzweg bzw. Druck) näher erläutert werden, soll kurz anhand der Fig.9 vorweg die bevorzugte Vorgabe für die Geschwindigkeit v des Preßstempels 14 näher beschrieben werden. Grundsätzlich geht diese Geschwindigkeitsvorgabe von dem Konzept aus, daß mit dem Preßstempel 14 ein bestimmter, wählbarer Weg s mit einer vorgebbaren Geschwindigkeit v zurückgelegt werden soll. Fig.9 zeigt nun den durch entsprechende Ansteuerung des Pressen-Steuerventils 50 herbeigeführten Verlauf der Preß(stempel)geschwindigkeit v , wobei die Preßgeschwindigkeit v ungefähr der Ventilstellung des Steuerventils 50 für den Preßzylinder 53 entspricht. Zum Zeitpunkt $t = 0$ am Ende des Dichtvorganges hat gemäß dem oben erläuterten Schritt 76 (Fig.6) ein harmonischer Übergang in den Preßprozeß zu erfolgen, wobei zu diesem Zeitpunkt die Geschwindigkeit v des Preßstempels 14 v_0 beträgt. Die Geschwindigkeit v wird von diesem Punkt v_0 weg am Beginn des Pressens gemäß einer Kurve 81 hochgesteuert, die einem Polynom 5. Grades entspricht; derartige Polynome haben die Eigenschaft, Krümmungen und Steigungen der angrenzenden Kurven (Gerade bei v_0 bzw. v_p vor Beginn bzw. nach Ende des Ansteuerungsvorganges, Kurve 81; dabei ist t_0 jene Zeit, in der die gewünschte Preßgeschwindigkeit v_p erreicht werden soll) ineinander überzuführen. In ähnlicher Weise soll auch beim Abbremsen des Preßstempels 14 einem Verlauf gemäß einem Polynom 5. Grades gefolgt werden, der im Diagramm von Fig.9 bei 82 veranschaulicht ist, wobei schließlich eine Endgeschwindigkeit v_e des Preßstempels 14 erreicht wird. Derartige Ansteuerungen haben den Vorteil, daß das Wegfahren und Bremsen des Preßstempels 14 ohne Sprünge oder Knicke erfolgt. Die Polynome 5. Grades sind dabei auf Grund der gewählten Parameter (z.B. v_0 , v_p zu den gewünschten Zeitpunkten 0 bzw. t_0 sowie die dort jeweils zu erreichenden Werte für die erste und zweite Ableitung nach der Zeit) eindeutig vorgegeben. Damit wird sichergestellt, daß ruckartige Bewegungen des Preßstempels 14 (und auch des Gegenhalters 15) bei der Durchführung des Verfahrens vermieden werden.

In Fig.7 und 8 sind nun zwei bevorzugte Möglichkeiten für den Steuer- und Regelkreis für den Preßstempel 14 und den Gegenhalter 15 während des Pressens veranschaulicht, wobei in beiden Darstellungen jener Steuer- bzw. Regelbereich in einer Umrandung enthalten ist, dessen Funktion vom Rechner 61 erfüllt wird. In beiden Steuerschemata ist weiters bei 83 das soeben erläuterte Hochsteuern des Preßstempels (siehe Steuerventil 50) entsprechend der Kurve 81, Fig.9, schematisch veranschaulicht. Ferner ist der Preßzylinder 53 gezeigt, und in entsprechender Weise sind auf der Gegenhalterseite der Gegenhaltezyylinder 36 sowie das Steuerventil 51 für den Gegenhaltezyylinder 36 veranschaulicht. Auch sind schematisch der Wegaufnehmer 63 für den Preßweg s_p sowie der Wegaufnehmer 64 für den Gegenhalteweg s_g gezeigt. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß in den Signalleitungen zum bzw. vom Rechner 61 in an sich üblicher Weise entsprechende A/D-Wandler bzw. D/A-Wandler vorgesehen sind, die aber in Fig.7 und 8 der Einfachheit halber weggelassen wurden.

Gemäß Fig.7 erfolgt eine Regelung für den Gegenhalter 15 nach einer vorgegebenen Wegdifferenz $\Delta s = s_p - s_g$ zwischen dem Weg des Preßstempels (Preßweg s_p) und dem Gegenhalteweg s_g . Die Vorgabe der Wegdifferenz Δs zwischen Preß- und Gegenhalteweg in Abhängigkeit vom bereits zurückgelegten Preßweg s ist dabei in Fig.7 schematisch bei 84 angedeutet. Der Differenzweg zwischen s_p und s_g wird dabei laufend in einem digitalen Addierer 85 gebildet, und ein weiterer digitaler Addierer 86 bildet die Differenz zwischen dem Sollwert (Vorgabe 84) und dem Istwert (Addierer 85) des Differenzweges $s_p - s_g$, abhängig vom Preßweg s_p (siehe Leitung 87), wobei das Ergebnis dieses Istwert-Sollwert-Vergleichs einem PID-Regler 88 (der auch bloß softwaremäßig realisiert sein kann und prozeßoptimal parametrisiert ist) zugeführt wird. Dieser Regler 88 wirkt sodann im Sinne einer Rückführung der Differenz zwischen Istwert und Sollwert der Wegdifferenz Δs auf 0 auf das Ventil 51 für den Gegenhaltezyylinder 36 ein, wobei dessen Geschwindigkeit v_g geregelt wird.

In Fig.8 ist die Steuerung und Regelung von Preßstempel 14 bzw. Gegenhalter 15 nach einer vorgebbaren, wegababhängigen Druckkurve für den Gegenhaltedruck p_g gezeigt, wobei diese Druckvorgabe in Fig.8 schematisch bei 89 gezeigt ist. Die Wegabhängigkeit wird wieder schematisch mit einer Leitung 90 für die Übermittlung des Wegsignals für s_p angedeutet, und weiters ist in Fig.8 auch der dem Gegenhaltezyylinder 36 zugeordnete Druckwandler für die Messung des Gegenhaltedruckes p_g schematisch angedeutet. Der p_g -Istwert wird wiederum einem durch einen digitalen Addierer realisierten Differenzbildner 91 zugeführt, der an seinem anderen Eingang den Sollwert für den Gegenhaltedruck angelegt erhält und die gebildete Differenz im Sinne einer Nullregelung einem PID-Regler 92 (der wiederum softwaremäßig realisiert sein kann) zuführt. Dieser PID-Regler 92 regelt über das Steuerventil 51 den Gegenhaltezyylinder 36 hinsichtlich seiner Geschwindigkeit v_g und somit letztlich hinsichtlich seines Druckes p_g .

Bei der Parametrierung des PID-Reglers 88 bzw. 92 für die beiden Regelalgorithmen (nach der Wegdifferenz ebenso wie nach dem Druck) sind zweckmäßigerweise folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- a) Es ist ein Überspringen zu vermeiden, welches ein Voreilen des Gegenhalters 15 gegenüber dem Preßstempel 14 bringt. Die Wegdifferenz zwischen der Preßachse und der Gegenhalteachse soll vom Preßbeginn an streng monoton steigen, um die Dichtheit der Gesamtanordnung zu gewährleisten.
- b) Auftretende Störungen sollen abklingende Regeleingriffe zur Folge haben.
- c) Ein LSB-Quantisierungsfehler der Meßfühler bzw. -sensoren soll nur weniger als 1 LSB der Regeldifferenz im nächsten Zyklus verursachen.

In praktischen Versuchen stellte sich als günstigste Vorgangsweise zur Abdichtung ein stetiger, gleichmäßiger Vorschub beider Zylinder, des Preßzylinders 53 ebenso wie des Gegenhaltezyinders 36, bis zum Erreichen eines vorgegebenen Innendruckes p_i oder Gegenhaltedruckes p_g heraus. Die beiden vorstehend angesprochenen Regeltechniken (Wegdifferenz bzw. Gegenhaltedruck) zur Stellung der Gegenhalteachse während des Pressens sind je nach Werkstück und Zielvorstellung anwendbar, jedoch ist das Druckregelverfahren im allgemeinen stabiler als das Wegregelverfahren, wobei es die Stauchung der Bogen-Außenfaser minimiert. Im allgemeinen wird daher das Druckregelverfahren (Fig.8) gegenüber dem Wegregelverfahren (Fig.7) zu bevorzugen sein.

Die Wegdifferenzvorgaben (84 in Fig.7) bzw. die Gegenhaltedruckvorgaben (89 in Fig.8) können dabei durch einfache Versuche (1 oder 2 Biegetests) je nach Werkstück (Material, Abmessungen, Wandstärken), Biegeradius etc problemlos ermittelt werden.

Aus vorstehendem kann die im vorliegenden Biegeverfahren vorgesehene spezielle Steuerung bzw. Regelung kurz wie folgt zusammengefaßt werden:

Gemessen werden der Preßstempelweg s_p und der Gegenhalteweg s_g sowie weiters der Preßzylinderdruck p_p und der Gegenhaltezyylinderdruck p_g und vorzugsweise auch der Innendruck p_i .

Gesteuert wird während des Abdichtens sowohl das Steuerventil 50 für den Preßzylinder 53 als auch das Steuerventil 51 für den Gegenhaltezyylinder 36. Während des Pressens wird sodann das Steuerventil 50 für den Preßzylinder 53 weiter mit spezieller Funktion gesteuert, wogegen das Steuerventil 51 für den Gegenhaltezyylinder 36 nach einer vorgegebenen Funktion z.B. des Gegenhaltezyylinderdruckes p_g über den Preßweg (siehe Fig.8) geregelt wird. Gegebenenfalls wird anstattdessen das Gegenhaltestempel-Steuerventil 51 nach der vorgegebenen Differenzweg-Funktion (siehe Fig.7) geregelt. Mit anderen Worten, es wird vor dem eigentlichen Biegen (Pressen) in der Abdichtphase der Gegenhaltedruck p_g durch Bewegen zumindest des Preßstempels 14 sowie vorzugsweise auch des Gegenhalters 15 aufgebaut, und bei Erreichen einer vorherbestimmten Größe des Gegenhaltedruckes p_g wird auf die Gegenhaltedruckregelung gemäß Fig.8 (oder die Wegregelung gemäß Fig.7) umgeschaltet. Dabei wird der Innendruck p_i entsprechend eingestellt, und durch Erhöhung des Innendruckes p_i wird eine Erhöhung der möglichen Bruchdehnung des Werkstückes 13 erreicht.

In praktischen Versuchen wurden Rohr-Werkstücke 13 aus den verschiedensten Werkstoffen gebogen, wobei sich insbesondere zeigte, daß auch Sonderwerkstoffe, insbesondere auch Aluminiumwerkstoffe, bei entsprechender Druckeinstellung, gegebenenfalls auch ohne vorherige Wärmebehandlung, zu den gewünschten Bogen umgeformt werden können. Von Vorteil ist dabei, daß das gegenständliche Verfahren selbststabilisierend ist, wie weiter oben erläutert wurde, so daß auf einfache Weise auch bei extremen Stauchungen und damit extrem hohen Innendrücken einwandfreie Bogen hergestellt werden können. Beispielsweise wurden versuchsweise Bogen der Abmessung 48,3 mm x 3,2 mm aus dem Werkstoff X2 CrNi 1911 angefertigt. Dieser Werkstoff weist eine ca. 40% höhere Formänderungsfestigkeit auf als der Werkstoff St35.8/l. Dabei konnten bei einem Gegenhaltedruck p_g von ungefähr 40 bar sowie einem Innendruck p_i von ungefähr 160 bar gute Ergebnisse erzielt werden. Im Fall von Aluminiumwerkstoffen, wie z.B. AlMgSi 0,5, steigt der Innendruck p_i beispielsweise auf bis zu 500 bar an, mit dem Maximum am Prozeßende, wobei als Gegenhaltedruck p_g ungefähr 15 bar vorgesehen werden.

Aus Fig.10 sind verschiedene Kurven für den zeitlichen Verlauf von Drücken, Wegen etc. ersichtlich, und zwar für den Fall eines 50 mm-schenkelverlängerten Bogens mit den Abmessungen ϕ 48,3 mm x 4,5 mm, Bie-

geradius 57 mm, Werkstoff St35.8/l. Im Diagramm Fig.10A sind dabei die gemessenen Drücke p_p (Druck des Preßzylinders 53), p_i (Innendruck im Werkstück 13) und Gegenhaltedruck p_g im Gegenhaltezyylinder 36 veranschaulicht, wobei allerdings für den Innendruck p_i ein Maßstab 1:10 gewählt wurde (siehe die Angabe in Fig.10A: $p_i/10$). Bei 85 ist im Diagramm A der Fig.10 der Schaltpunkt Dichten/Pressen veranschaulicht, wenn der Gegenhaltedruck p_g einen Wert von 32,5 bar erreicht.

Im Diagramm B der Fig.10 sind, ebenfalls über der Zeit t , der Preßweg s_p sowie der Gegenhalteweg s_g , somit also die Position des Kolbens des Preßzylinders 53 bzw. die Position des Kolbens des Gegenhaltezyinders 36 veranschaulicht.

Im Diagramm C von Fig.10 ist bei 23 die Vorgabefunktion des Gegenhaltedrucks p_g über dem zurückgelegten Preßweg, in der Darstellung auf die Zeit umgelegt, veranschaulicht, und weiters ist auch bei 94 die Regeldifferenz d_g (Sollwert - Istwert), des Gegenhaltedrucks p_g gezeigt. Darüber hinaus ist die gemessene Wegdifferenz (Preßweg s_p Gegenhalteweg s_g) ab Beginn des Pressens dargestellt.

Das Diagramm D von Fig.10 zeigt schließlich die Ansteuerung der beiden Steuerventile 50 (für den Preßzylinder 53) und 51 (für den Gegenhaltezyylinder 36), wobei im einzelnen die Kurve 95 die der Ansteuerung des Preßzylinder-Ventils 50 im wesentlichen entsprechende Geschwindigkeit des Preßzylinderkolbens und die Kurve 96 die entsprechende Geschwindigkeit des Gegenhaltezyylinderkolbens, die der Ansteuerung des Ventils 51 für den Gegenhaltezyylinder 36 entspricht, veranschaulicht.

Der Vollständigkeit halber ist in Fig.11 noch in einem Diagramm die Regelung nach einer vorgegebenen Wegdifferenz $s_p - s_g$ (entsprechend der Stauchung des Werkstückes) veranschaulicht, wobei einerseits bei 97 die Vorgabekurve für den Differenzweg sowie andererseits bei 98 die Regeldifferenz d_s gezeigt sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Biegen von Hohlprofil-Werkstücken (13), insbesondere Rohr-Werkstücken, in einem eine Bogenform (12) aufweisenden Gesenk (11), wobei das Werkstück (13) mit Flüssigkeit (18) gefüllt und an seinen Enden abgedichtet sowie mit Hilfe eines Preßstempels (14) der Länge nach unter Innendruck-Stützung und entgegen einer durch einen Gegenhalter (15) aufgebrachten Gegenhaltedruckkraft in die Bogenform (12) des Gesenks (11) gepreßt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Preßkraft (p_p), mit der das Werkstück (13) in bzw. durch die Gesenk-Bogenform gepreßt wird, und/oder die Gegenhaltedruckkraft (p_g) in Abhängigkeit vom Biegeprozeß-Fortschritt und/oder vom Druck (p_i) der Flüssigkeit (18) im Werkstück-Innenen gesteuert bzw. geregelt wird/werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erfassung des Biegeprozeß-Fortschritts der zurückgelegte Preßweg (s_p) gemessen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit (v) des Preßstempels (14) in Abhängigkeit vom Preßweg (s_p) von Beginn des Pressens an ruckfrei auf eine vorgegebene Maximalgeschwindigkeit (p_p) hochgesteuert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit (v) des Preßstempels (14) entsprechend einem Polynom 5. Grades hochgesteuert wird, wodurch die Geschwindigkeit (v) des Preßstempels (14) sowie ihre erste und zweite Ableitung nach der Zeit stetig wird und somit die Hochsteuerung der Geschwindigkeit ruckfrei erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit (v) des Preßstempels (14) nach dem Hochsteuern in der Anfahrphase während der übrigen Preßphase (76) konstant gehalten wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweilige Werkstück-Umformung, insbesondere als logarithmischer Umformgrad, aus der Wegdifferenz zwischen dem zurückgelegten Preßweg (s_p) und dem Weg (s_g) des Gegenhalters (15) ermittelt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß durch Regelung der Bewegung des Gegenhalters (15) relativ zum Weg (s_p) des Preßstempels (14) laufend eine vorgegebene Werkstück-Umformung eingestellt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß während des Pressens durch Regeln eines

dem Gegenhalters (15) zugeordneten Ventils (51) die Gegenhaltekraft (p_g) in jeder Preßphase auf einen vorgegebenen Wert eingestellt wird.

- 5 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß in die Regelung der Gegenhaltekraft (p_g) im Falle einer zu erwartenden bzw. beginnenden Undichtheit des WerkstückInnenen, etwa bei Überwachung des Innendruckes (p_i) und Feststellen eines 10%igen Druckabfalls, oder gegebenenfalls bei Feststellen eines Anstiegs in der zeitlichen Ableitung des logarithmischen Umformgrades, ein durch eine Zeitkonstante von höchstens $\tau = 50$ ms beschreibbarer, schneller, übergeordneter Regeleingriff erfolgt, um die Abdichtung sicherzustellen.
- 10 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück (13) vor dem Schließen und Druckbeaufschlagen des geteilt ausgeführten Gesenks (11) mit der Flüssigkeit (18) gefüllt wird, wobei es nach dem Schließen und Druckbeaufschlagen, unmittelbar vor dem Pressen, durch Anlegen des Preßstempels (14) und des Gegenhalters (15) abgedichtet wird.
- 15 11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück (13) durch Einleiten von Flüssigkeit in eine das Gesenk (11) umgebende abgedichtete Wanne mit der Flüssigkeit gefüllt wird, wobei das Werkstück gänzlich von der Flüssigkeit bedeckt wird.
- 20 12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß zum Abdichten des Werkstückes (13) der Preßstempel (14) und der Gegenhalter (15) mit geringer Geschwindigkeit, z. B. 0,5 mm/s, aufeinander zu bewegt werden, bis ein vorgegebener Druck (p_i) der Flüssigkeit (18) oder eine vorgegebene Gegenhaltekraft (p_g) erreicht wird, worauf das Pressen eingeleitet wird.
- 25 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgegebene Gegenhaltekraft (p_g), bei deren Erreichen das Pressen eingeleitet wird, als Gegenhaltekraft zumindest in der ersten Phase des Pressens beibehalten wird.
- 30 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Herstellung von Bogen (23) mit Schenkelverlängerungen (24, 25) in Form von geraden Anschlußstücken als Sollwert der Gegenhaltekraft (p_g) während jener Prozeßphase, in der der bereits gebogene, Gegenhalter-seitige Teil des Werkstückes (13) in einen Gegenhalter-seitigen, an die Bogenform (12) anschließenden geraden Teil des Gesenks (11) einläuft, wobei eine Rückbiegung in Sinne einer nicht-homogenen Umformung stattfindet, ein erhöhter Wert, z.B. im Vergleich zur Gegenhaltekraft (p_g) während des vorhergehenden Prozesses
- 35 ein 2-bis 4-facher Wert, vorgesehen wird, der abhängig von der Wandstärke und vom Material des Werkstückes (13) eine Abdichtung ermöglicht.
- 40 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangs-Werkstück (13) an den Enden mit Schrägschnitten versehen wird, deren Winkel (28, 29) zur Werkstückachse (22) größer als 70° ist, vorzugsweise 75° bis 85° beträgt.
- 45 16. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 15, mit einem Gesenk (11), einem Preßstempel (14) und einem Gegenhalter (15), der mit durch ein Spannelement (30) zusammengehaltenen Gliedern (19, 20) mit gekrümmten Lagersegmenten (42) bzw. Lagerpfannen (43) aufgebaut ist, dadurch gekennzeichnet, daß dem Preßstempel (14) und dem Glieder-Gegenhalter (15) eine den Biegeprozeß-Fortschritt und/oder den Druck der Flüssigkeit (18) im Werkstück-Inneren erfassende Steuer- bzw. Regeleinheit (57), insbesondere mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (60) und mit einem Rechner (61), der Steuerventile (50, 51) für den druckmittelbetätigten Preßzylinder (53) und Gegenhalterzylinder (36) ansteuert, zugeordnet ist.
- 50 17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Glieder-Gegenhalter (15) bleibend flüssigkeitsdicht ausgeführt ist, wobei vorzugsweise der Preßstempel (14) mit einer Verbindungsbohrung (21) zur Überwachung des Drucks der Flüssigkeit (18) im Werkstück-Inneren und/oder zur Füllung des Werkstückes (13) mit Flüssigkeit (18) versehen ist.
- 55 18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagerpfannen (43) der Gegenhalter-Glieder (19) eine Krümmung aufweisen, die geringfügig, z.B. um 1% bis 4%, insbesondere 3%, kleiner ist als die Krümmung der Lagersegmente (42).

- 19.** Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß für die Herstellung von zur Gänze torusförmigen Rohrbogen (23), d.h. Rohrbogen ohne zylindrische Schenkelverlängerungen (24, 25), der Winkel der Rohrbogenform des Gesenks (11) um mindestens 5°, vorzugsweise um 10° bis 20°, größer ist als der Winkel der herzustellenden Bogen.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

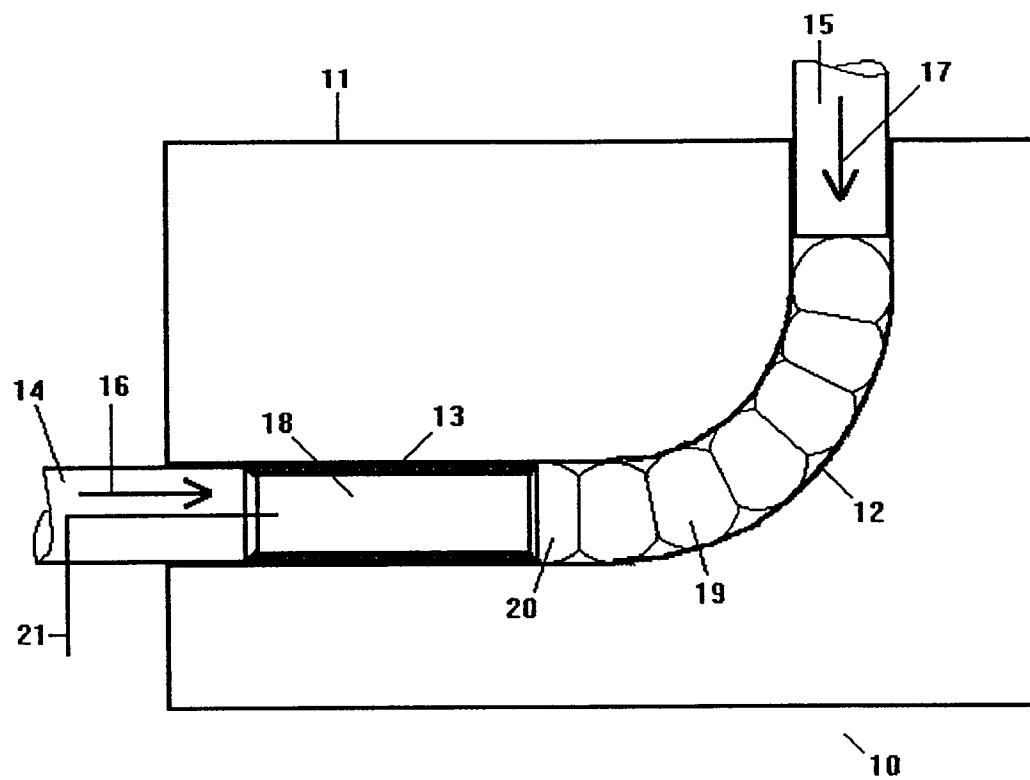


FIG. 1

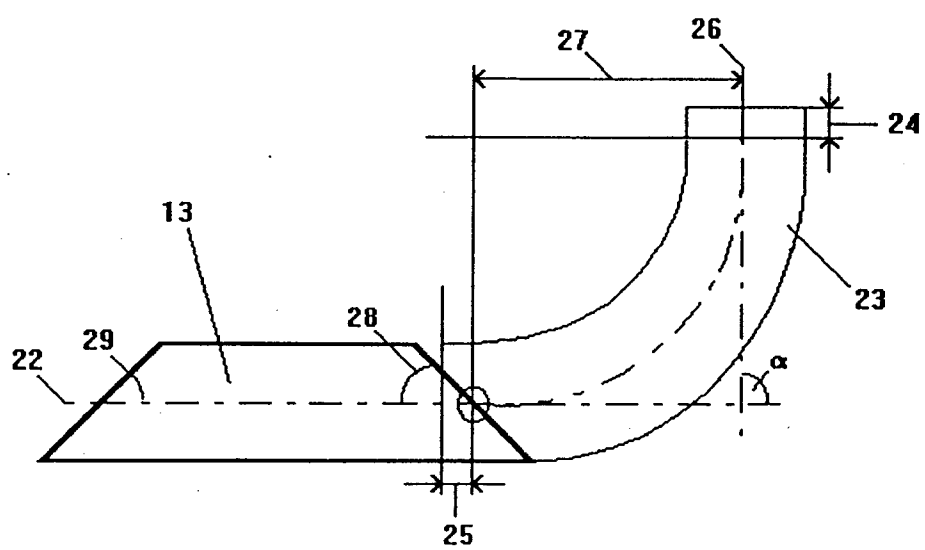
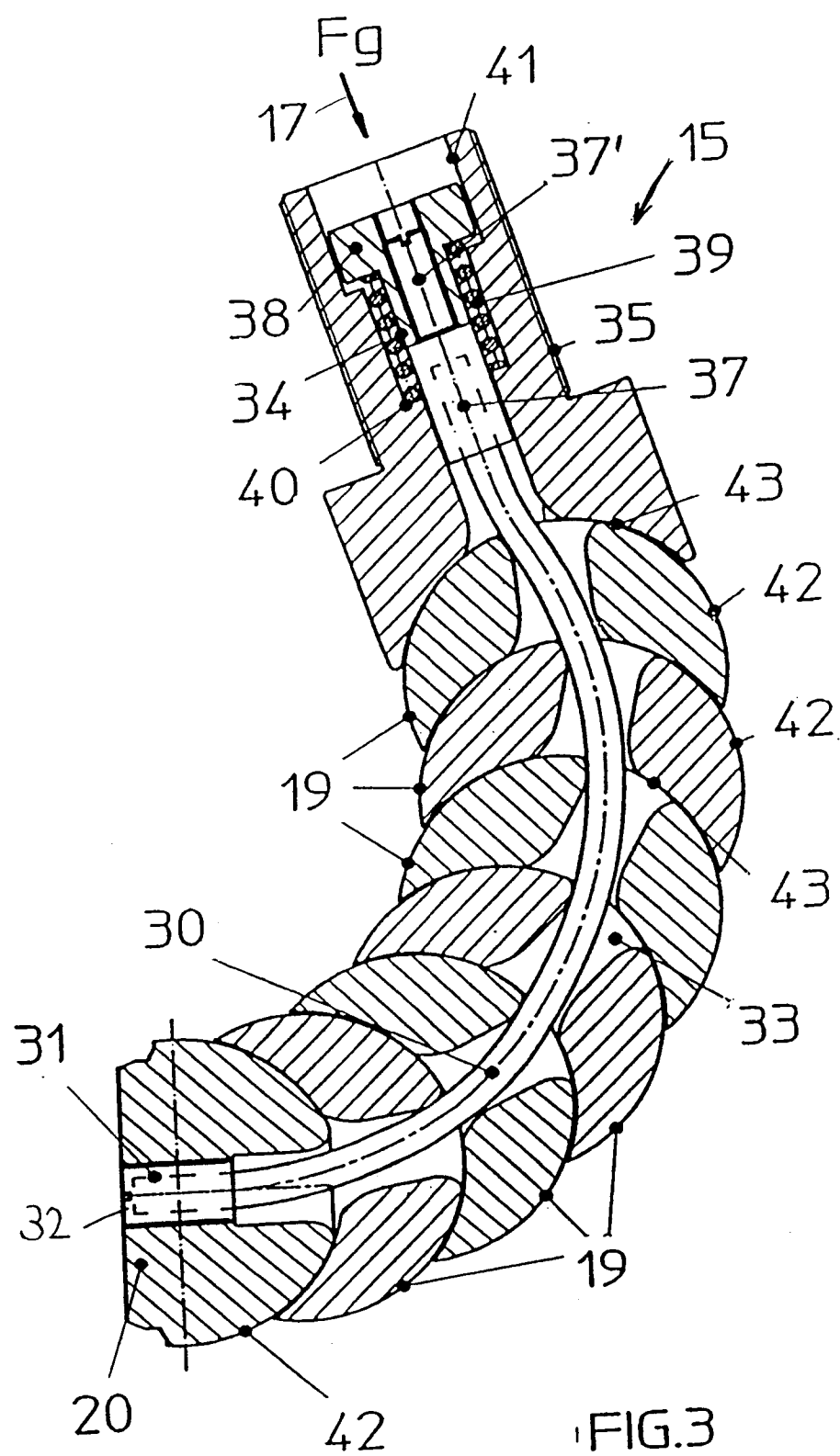
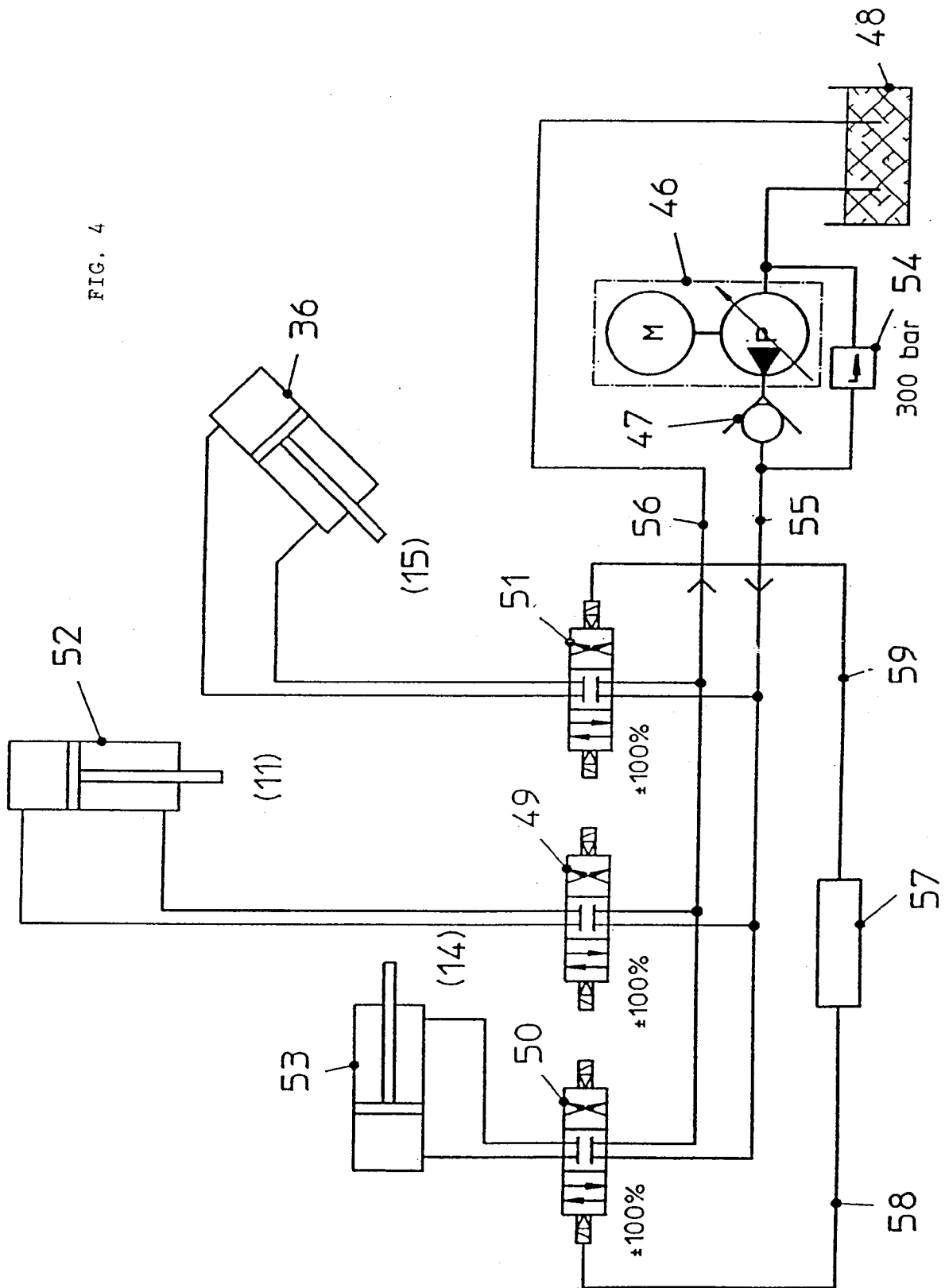


FIG. 2





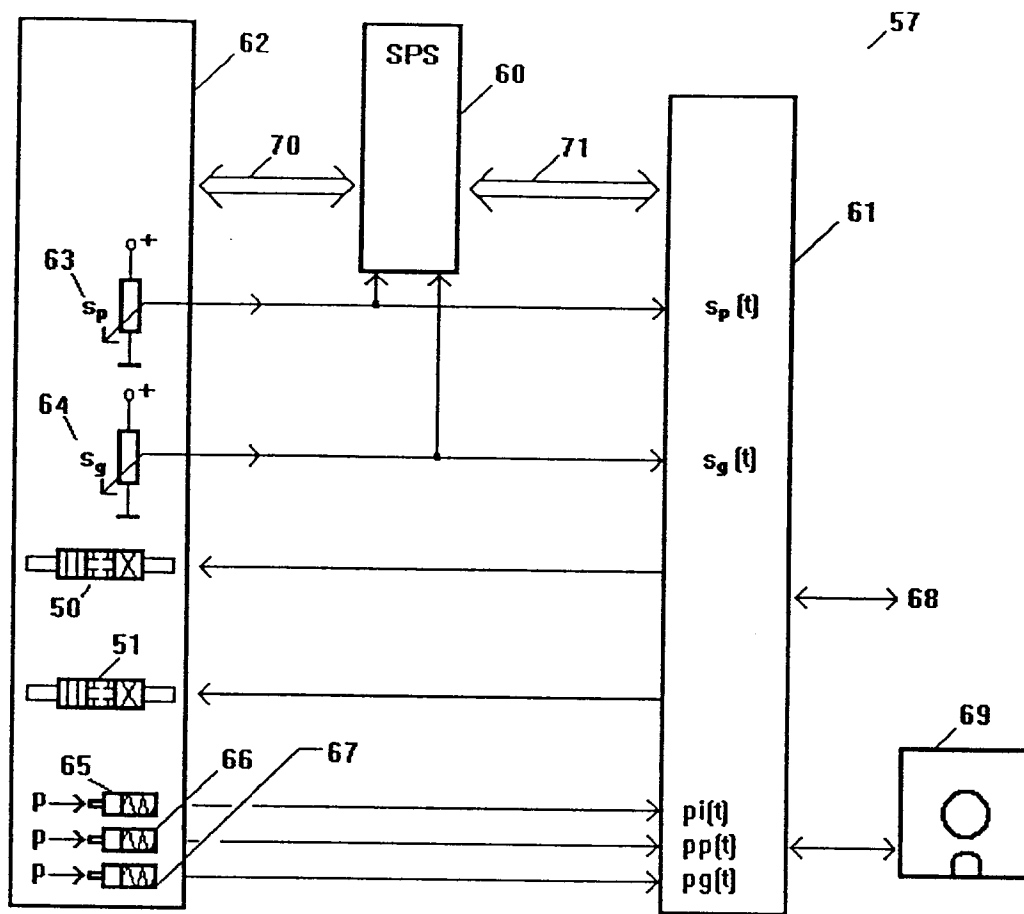


FIG. 5

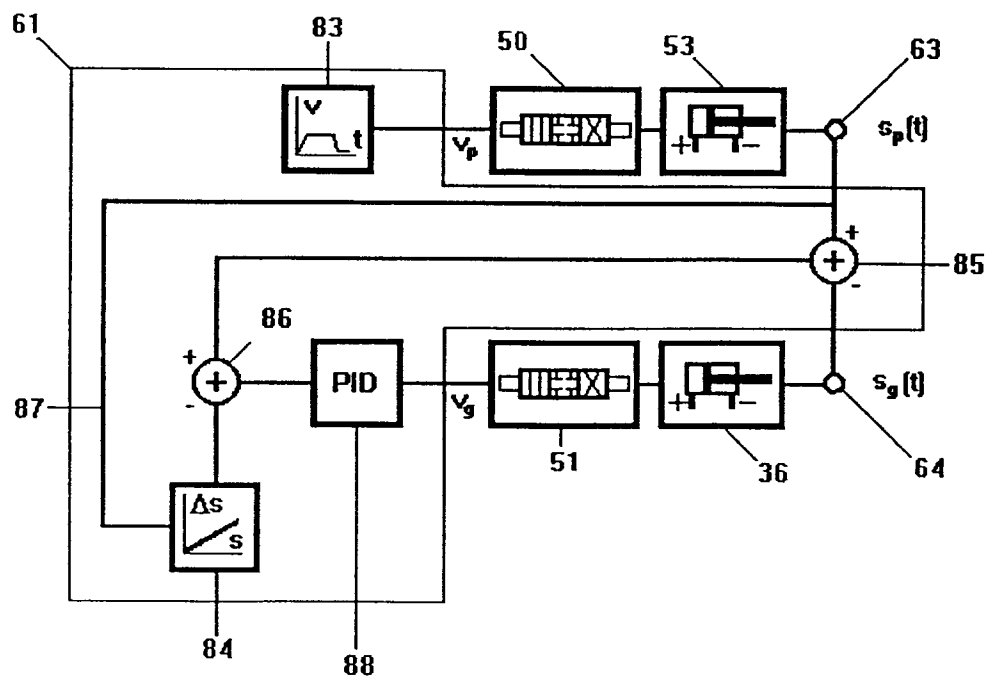


FIG. 7

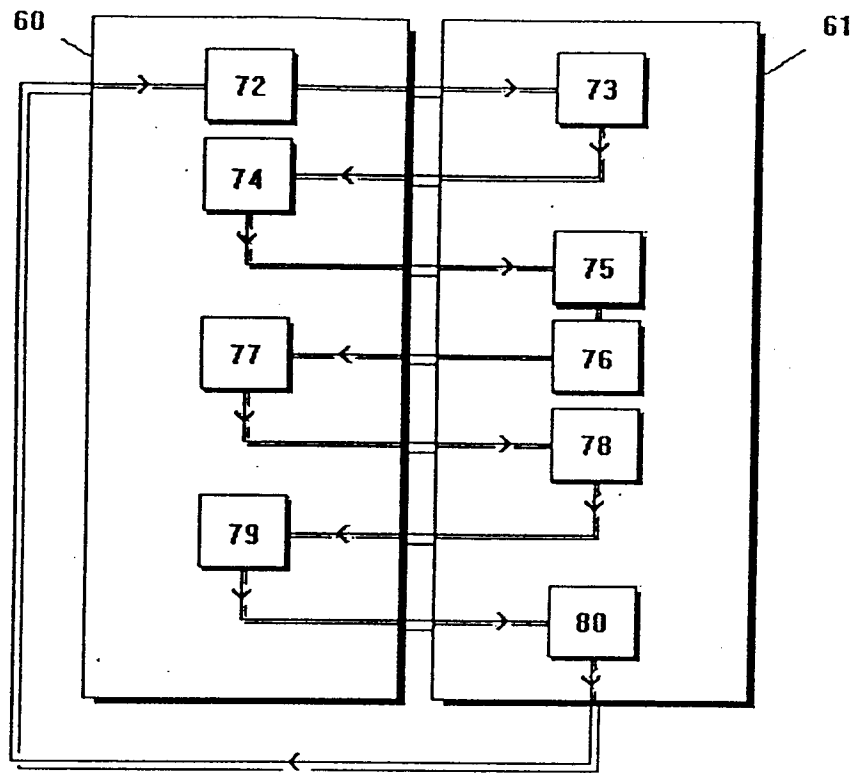


FIG. 6

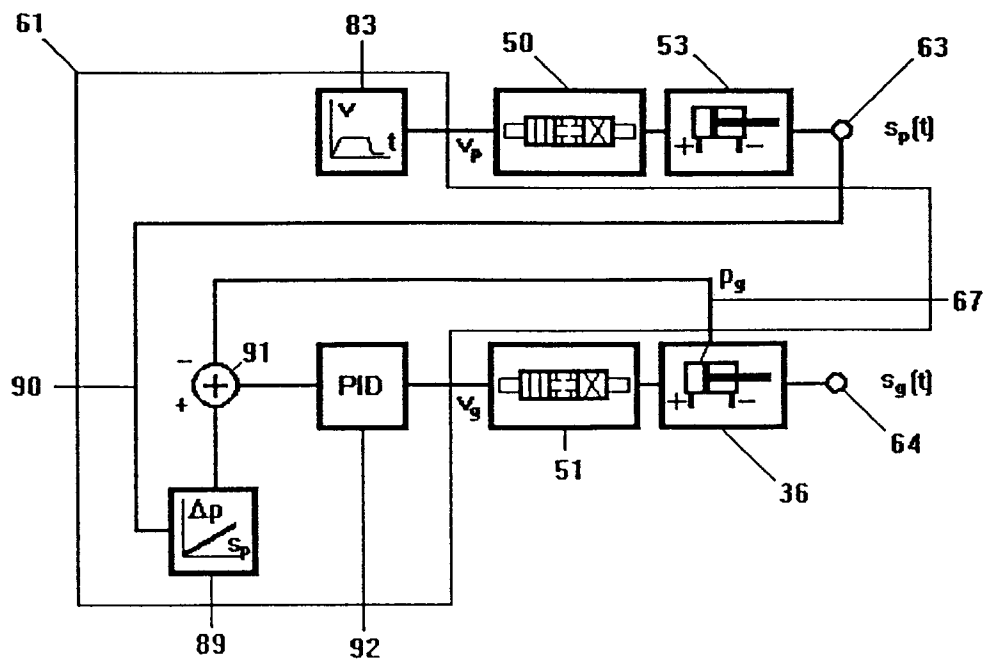


FIG. 8

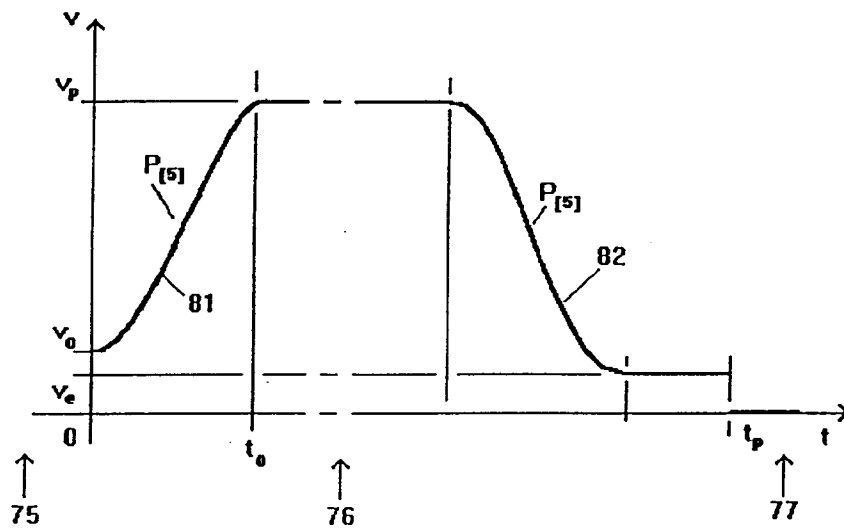


FIG. 9

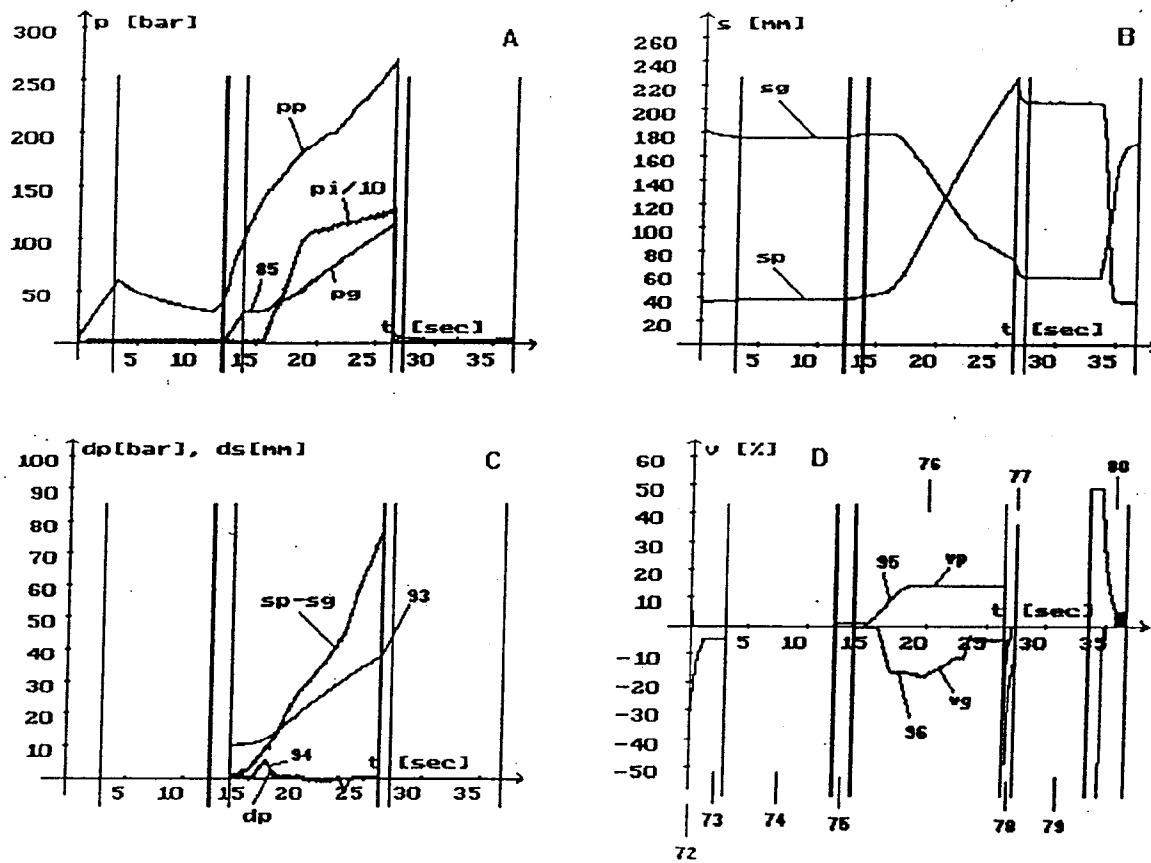


FIG. 10

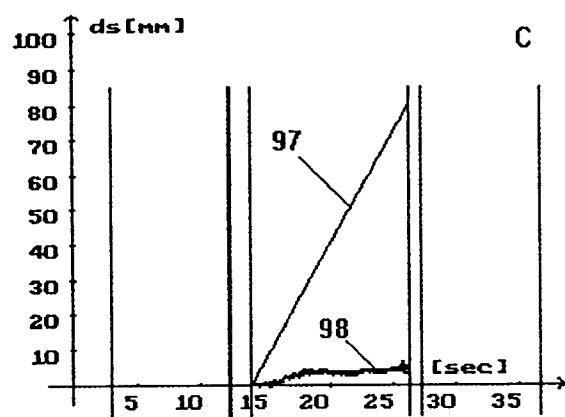


FIG.11