



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① **CH 685613 A5**

⑥ Int. Cl. 6: **B 29 C 45/76**
G 01 L 5/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 3291/92

㉒ Anmeldungsdatum: 23.10.1992

㉔ Patent erteilt: 31.08.1995

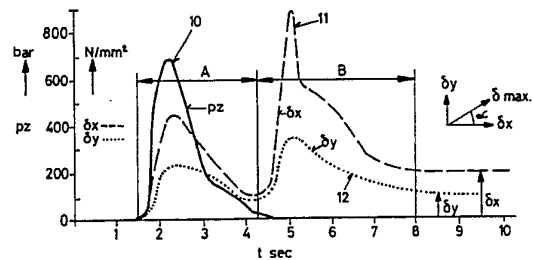
㉕ Patentschrift veröffentlicht: 31.08.1995

㉗ Inhaber: K.K. Holding AG, Winterthur

㉘ Erfinder: Bader, Christoforus, Neftenbach
Engeler, Paul, Frauenfeld

⑤④ **Verfahren und Vorrichtung zum Erfassen von Materialspannungen in Formteilen.**

⑤⑦ In der Verarbeitungstechnik von Kunststoffen, Metallen, Keramiken etc. werden die Materialien in Metallformen gepresst und zum Erstarren gebracht. Der Übergang vom flüssigen/teigförmigen in den festen Zustand ist je nach Material und Temperaturen mit Schrumpf- oder Expansionsvorgängen verbunden, die an kritischen Punkten zu erheblichen Materialspannungen führen können. Diese im Werkstück verbleibenden Materialspannungen können im Betrieb frühzeitig zu Ausfällen führen, da bis heute keine Möglichkeiten bestehen, solche Restspannungen im Fertigstück zu erkennen. Die Erfindung eröffnet hier neue Möglichkeiten mit einem Verfahren, das sowohl den viskosen Einspritz/Eingussvorgang (A), wie auch den Schwindvorgang während der Erstarrungsphase (B) mit einer geeigneten Messvorrichtung erfassen kann. Dazu wird in der Metallform an der zu erwartenden kritischen Stelle ein Sensor eingebaut, der Messflächen aufweist, die bündig mit der Innenwand sind und Schub- (11) und Druckspannungen (10) so messen kann, wodurch erstmals der Schwindvorgang messbar wird. Damit ist eine neue Dimension der Qualitäts-Überwachung möglich.



Beschreibung

In der Verarbeitungstechnik von Kunststoffen, Metallen, Legierungen etc. entstehen im Erstarrungsvorgang interne Spannungen, die im gefertigten Formteil weitgehend erhalten bleiben und zu Qualitätseinbussen führen können. Diese Spannungen konzentrieren sich an bestimmten Orten eines gegossenen, gespritzten oder gepressten Formteils und entstehen hauptsächlich durch ungleichmässige Schrumpfungen im Erstarrungs-Vorgang. Bis heute war es nicht möglich, solche Spannungen zerstörungsfrei festzustellen, weder beim Produktionsprozess noch nach Vorliegen des Fertigproduktes.

Innere Materialspannungen zu messen ist heute nur mit einer komplexen Anbohrungstechnik und nur begrenzt möglich. Die vermutete kritische Spannungsstelle wird dabei stufenweise ausgebohrt. Während dieses Vorganges wird die Umgebung mit aufgebrachten Dehnmessstreifen auf Spannungsveränderung untersucht. Es ist heute also nur unter Zerstörung des Formteils möglich, interne Spannungen, die vom Herstellprozess herrühren, zu beurteilen. Es ist dies eine langwierige und kostspielige Aufgabe.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung geht neue Wege mit einem Verfahren, das erstmals den Schwindungs- oder Expansions-Vorgang während der Erstarrung des Formteils in seiner Press- oder Giessform misst. Die Erkenntnis, dass der Erstarrungsvorgang – also der Übergang vom flüssigen bzw. viskosen zum festen Zustand Kristallumwandlungen und damit Volumenänderungen mit sich bringen, ist bekannt. Im Fall des Metallpulver-Spritzgiessverfahrens (MIM) kann der Schwindungsfaktor bis 20% betragen.

Dass der damit begleitende Schwindungs- oder Expansionsvorgang (z.B. Expansion beim Übergang von Wasser zu Eis) erhebliche Spannungen im Formteil hervorrufen kann, ist ebenfalls wohlbekannt. Kenntnis und Kontrolle dieser Spannungsvorgänge eröffnen somit neue Möglichkeiten der Qualitätskontrolle.

Neu und erfindungsgemäss ist demnach, dass man diesen zeitlich genau begrenzten Vorgang im Herstellungsprozess benützt, um in der Spritz- oder Giessform an vorbestimmten Punkten Veränderungen der Spannungen an der Forminnenwand zu messen. Als Messvorrichtung wird in die Spritz- oder Giessform eine Messfläche bündig mit der Werkstückoberfläche so eingebaut, dass diese z.B. in allen drei orthogonalen Richtungen frei beweglich ist, d.h. von der Wand der Spritz- oder Giessform durch einen minimalen Luftspalt getrennt ist. Dieser Luftspalt ist so klein, dass der Werkstoff im flüssigen oder viskosen Zustand nicht durchtreten kann, auch wenn er unter hohem Druck steht. Die Spaltweite ist von der Viskosität des Fließmaterials abhängig und kann durch empirische Versuche bestimmt werden. Die Messfläche der Vorrichtung ist vorzugsweise die Frontfläche eines in die Form eingeschraubten Sensors, der Schub- und Druckkräfte messen und mit der entsprechenden Elektronik in elektrische Spannungsänderungen umwandeln kann. Es sind aber auch andere Messflächen, z.B.

unebene und/oder zusammengesetzte, denkbar und erfindungsgemäss.

In den folgenden Figuren soll die Erfindung als Anwendungsbeispiel in der Kunststoff-Spritzgiess-technik dargestellt werden. Die Erfindung ist aber auch in der Metall-, Druck- und Spritzgiess-technik sowie in einer Reihe anderer Verfahren anwendbar, wo Schwindungsvorgänge erfasst werden sollen.

Verfahren und Vorrichtung sollen anhand der vorliegenden Figuren näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 Schnitt durch ein Kunststoff-Spritzgiesswerkzeug mit Formteil und Messvorrichtung

Fig. 2 eine als Einschraubsensor gestaltete Vorrichtung zum Erfassen von einer Druck- und zwei Schubspannungen, δx und δy

Fig. 3 ein Messdiagramm mit einem Druckspannungsverlauf pz und zwei Schubspannungsverläufen δx , δy

Fig. 4 ein Messdiagramm mit einem Druckspannungsverlauf pz und einem Schubspannungsverlauf δx für verschiedene Materialien M, N

Fig. 5 ein Qualitäts-Überwachungsdiagramm mit drei Beurteilungsfenstern für die automatische Prozessüberwachung I, II, III

Fig. 6 ein Sensor nach Fig. 2 im Schnitt

Fig. 7 ein Sensor ähnlich Fig. 6, wo die Messelemente direkt im Sensorkopf 5 untergebracht sind

Fig. 8 den Grundrisschnitt zu Fig. 7

Fig. 9 eine Messanordnung für einen Einkomponenten-Sensor δx

Fig. 10 eine Messanordnung für einen Zweikomponenten-Sensor pz , δx

Fig. 11 eine Messanordnungs-Variante zu Fig. 10

Fig. 12 eine Messanordnung der elektrischen Schaltung für einen Zweikomponenten-Sensor pz , δx

In Fig. 1 ist ein Schnitt durch ein Kunststoff-Spritzgiesswerkzeug gezeigt, 1 ist der Formoberteil, 2 der Formunterteil, 3 ist das gespritzte Formteil bzw. Werkstück. Die Messvorrichtung 4 ist ein von der Wand isoliertes Zylinderstück, das frontbündig mit der Werkstückoberfläche und messempfindlich in den drei Koordinatenachsen X, Y und Z montiert ist.

In Fig. 2 ist die Frontpartie der Messvorrichtung 4 deutlich gezeigt. Der Sensorkopf 5 ist mit Spiel S in der Sensorhülse 6 geführt und im Sensor 7 abgestützt. Mittels Verschraubung 8 wird der Sensor 7 z.B. im Formunterteil 2 montiert. Die Schubspannung δ erreicht entlang der Formwand Maximalwerte. Die Messfläche 9 ist als Beispiel einer Planfläche senkrecht zur Sensorachse dargestellt. Sie kann aber auch aus mehr als einer Fläche bestehen oder nichtplan gestaltet sein.

Fig. 3 zeigt die mit einer erfindungsgemässen Vorrichtung aufgenommenen Spannungsverläufe. Auffallend sind zwei grundsätzliche Phasen:

Phase A: Flüssigkeitsphase, Einspritzphase
Phase B: Erstarrungsphase, Schwindungsphase

Gehört die Messung des Druckspannungsver-

laufs 10 zum bekannten Stand der Technik, so zeigt 11 den Schubspannungsverlauf δx , der in der Erstarrungs- bzw. Schwindungsphase B eine bisher unbekannte und erstaunliche Aussage ergibt, die erfindungsgemäss ganz neue Möglichkeiten eröffnet.

Ähnlich, aber in wesentlich reduzierterer Form, ist die Erstarrungsschubspannung δy orthogonal zu δx . Aus diesen beiden Werten kann nach bekannter Vektoraddition die Grösse des max. Schubspannungsvektors $\delta \text{ max.}$ sowie der Richtungswinkel α festgestellt werden.

Aus der Formgebung des Werkstückes kann der Fachmann den oder die kritischen Messpunkte finden, wo der Sensor anzubringen ist. Gleichzeitig erkennt der Fachmann auch in welcher Richtung die gefährlichsten Erstarrungsspannungen wirken. In den meisten Fällen, insbesondere zur Produktionsüberwachung, wird er deshalb nur eine einzige Schubspannungssachse, z.B. δx , überprüfen, um den Einfluss verschiedener Prozessparameter beurteilen zu können.

Fig. 4 zeigt ein Beispiel einer solchen Untersuchung mit z.B. zwei verschiedenen Materialien M und N. 15 sind die Druckspannungsverläufe verschiedener Materialien pz M und pz N, die fast ähnlich sind. Ganz erstaunlich sind aber die Unterschiede der Schubspannungsverläufe 16 in der Erstarrungsphase B, so dass die beiden Materialien erhebliche Restspannungs-Unterschiede $\Delta \delta x$ aufweisen. Daraus zeigt sich, dass die Aussagekraft der Schubspannungen bezüglich Qualitätsanforderung eine neue Dimension eröffnen. Von interessanter Aussagekraft ist der «Sturz» K des Schubspannungsverlaufs δx M.

In Fig. 5 sind die drei Beurteilungsfenster I, II und III einer prozessgeführten Spritzgiessmaschine erläutert. Dazu ist an der kritischen Stelle ein erfindungsgemässer Zweikomponenten-Sensor pz, δx montiert. In Fenster I werden die Einspritz-Druckgrenzverläufe 18 überwacht, in Fenster II die Schubspannungsgrenzen 19 während der Flüssigphase und in Fenster III die Grenzen der Schubspannungen 20 während der Erstarrungsphase. Auf dieser erfindungsgemässen neuen Basis lässt sich ein bisher unerreichtes Qualitätsniveau erreichen.

Fig. 6 zeigt einen Sensor entsprechend Fig. 2 im Schnitt. Der Sensor kann direkt in den Formteil 2 oder via Hülse 6, welche Teil des Sensors 7 ist, eingebaut werden. Der Spielraum S kann in gewissen Fällen mit dem Dichtring 22 versehen werden. Der Übertragungsstempel 25 leitet die vom Sensor-kopf 5 aufgenommenen Messkräfte auf das Kristallpaar 23, das gleichnamig gepolt ist, d.h. beide Kristallstücke 23 ergeben bei Belastung in Z Richtung auf der Innenseite eine gleichnamige, z.B. negative, Ladung ab. Die Elektroden 24 nehmen nach bekanntem Stand der Technik die elektrischen Ladungen von den metallisierten Kristallflächen ab und leiten sie zum Anschlusskabel 36. (Fig. 12)

Fig. 7 zeigt eine Variante zu Fig. 6; so ist die Kristallanordnung 23 direkt im Sensorkopf 5 untergebracht.

Fig. 8 zeigt den Grundriss zu Fig. 7; so ist das

Kristallpaar 23 durch den Füllkörper 26 getrennt, und die Elektroden 24 sind im Füllkörper 26 eingebaut.

Fig. 9 zeigt die Mess- und Schaltanordnung, wenn der Sensor nur eine Komponente, die Schubspannung δx , messen soll, was die einfachste Schaltung ergibt. Die Elektroden 24 können zusammengeschaltet werden, deren Signale einem Ladungsverstärker 30 zugeführt werden, welcher direkt eine Ausgangsspannung U abgibt, Voraussetzung für diese Vereinfachung ist ein ungleichnamig gepoltes Kristallpaar 23 (+) (-).

Fig. 10 zeigt dieselbe Anordnung mit einem gleichnamig gepolten Kristallpaar 23 für zwei Komponenten pz und δx .

Fig. 11 zeigt die Anordnung mit einem ungleichnamig gepolten Kristallpaar 35 ebenfalls für zwei Komponenten pz und δx .

Der elektronische Aufwand an Ladungsverstärkern 30, Summiergeräten 31 und Differenzgeräten 32 ist in den beiden Fällen gleich.

Fig. 12 zeigt die elektronische Schaltung der erfindungsgemässen Anordnung deutlicher. Es ist der einfachere Zweikomponenten-Fall dargestellt mit dem gleichnamig gepolten Kristallpaar 23, eingebaut z.B. im Sensor nach Fig. 6, 7. Das zweiadrige, aussen abgeschirmte Verbindungskabel 36 führt zum Verstärkerkasten 33, in welchem die beiden Ladungsverstärker 30, das Summiergerät 31 und das Differenzgerät 32 untergebracht sind.

Am Ausgang sind die beiden Signale pz und δx sowie der «Operate»-Anschluss zur Einschaltung der Geräte. Dank modernster Hybridtechnik weisen alle vier Teilgeräte kleine Dimensionen auf und sind dank Solidstate Technik betriebssicher und preisgünstig. Das erfindungsgemässe Verfahren und die erfindungsgemässe Vorrichtung zur Erfassung von Materialspannungen wird hauptsächlich in der Spritzgiess-technik mit Kunststoffen, Metallen und Keramiken neue Möglichkeiten eröffnen.

Es gibt aber eine Reihe anderer Fabrikationsprozesse, wo der Übergang von einer viskosen in eine feste Phase Materialspannungen entstehen lässt, die bis heute ebenfalls nicht erfasst werden konnten und wo die Erfindung ganz neue Wege öffnet. Mit heutiger Technologie können piezoelektrische Kristallsensoren gebaut werden, die Spitzentemperaturen bis +500°C aushalten.

Die gezeigten Beispiele sind am einfachsten mit piezoelektrischen Kristallelementen zu verwirklichen, wie dargestellt wurde, insbesondere mit Quarzkristallelementen.

Ähnliche Einzelelemente sind aber auch auf piezoresistiver Basis mit diffundierten Siliciumelementen möglich. Es können aber auch Dünnfilm- oder DMS-bestückte Messglieder verwendet werden. Wegen der einfachen Signalabnahme eignen sich jedoch piezoelektrische Anordnungen am besten, weil sie auch am betriebssichersten sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erfassen von Materialspannungen in Formteilen, vor und/oder nach ihrer Formung aus einem Werkstoff, der innerhalb einer entspre-

chenden Form aus einer fließfähigen Phase in eine feste Phase übergeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Materialspannungen mindestens während eines Zeitpunktes des Füll- und Formvorganges und/oder des Erstarrungsvorganges mit Hilfe mindestens einer einem Sensor zugeordneten Messfläche erfasst werden, die einen Teil der den Formhohlraum begrenzenden Forminnenfläche bildet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich nach abgeschlossener Erstarrung die Restspannungen feststellbar sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf die Messflächen wirkende Kräfte und Spannungen in bis zu drei Komponenten, entsprechend vorzugsweise orthogonalen Koordinaten, erfasst werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine auf die Messfläche wirkende Kraftkomponente, vorzugsweise eine Schubspannung δx , gemessen und zur Steuerung des Produktionsvorganges für das Formteil derart ausgewertet wird, dass sowohl die von der betreffenden Kraftkomponente hervorgerufene maximale Spannung als auch die betreffende Restspannung in vorgewählten Grenzen gehalten werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Spritzgießmaschine zur Formung des Formteils sowohl die Spritzphase als auch die Erstarrungsphase durch Kraftmessung mit Hilfe der Messflächen überwacht und die Messwerte zur Steuerung des Produktionsvorganges benützt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Steuerung der Spritzgießmaschine mindestens eines der folgenden drei Beurteilungsfenster einprogrammiert werden:

- Druckspannungsgrenzverläufe (I in Fig. 5)
- Schubspannungsverläufe der viskosen Phase (II in Fig. 5)
- Schubspannungsverläufe in der Erstarrungsphase (III in Fig. 5)

7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine einen Teil eines Sensors (7) bildende Messfläche (19), die als Teil der Forminnenfläche bündig mit dieser so angeordnet ist, dass sie mindestens eine vom Werkstoff ausgeübte Spannung erfassen kann.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor Teil eines Überwachungs- und Steuerungssystems einer Spritzgießmaschine darstellt, derart, dass die Größe der erfassten Spannungen auf den Überwachungs- und Steuerungsvorgang der Maschine einwirken.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (7) einen die Messfläche (19) bildenden Sensorkopf (5) aufweist, der bündig mit der Forminnenwand positioniert ist und von derselben durch einen Ringspalt (S) getrennt ist, jedoch mit dem Sensor (7) so verbunden ist, dass er sowohl Axialspannungen (pz) wie auch Schubspannungen (δ) auf ein im Sensor (7) eingebautes Messglied (23) übertragen kann.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensorkopf (5) über einen

Übertragungstempel (25) mit dem Sensor-Messglied (23) verbunden ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensorkopf (5) von einer Sensorhülse (6) umfasst ist, die von ihm durch den Ringspalt (S) getrennt ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch einen Dichtring (22) zwischen Sensorkopf (5) und Sensorhülse (6).

13. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensorkopf (5) mit einer senkrecht zur Achse stehenden ebenen Messfläche (9) ausgerüstet ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensorkopf (5) mit einer unebenen oder zusammengesetzten Messfläche (9) ausgerüstet ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied als piezoelektrische Kristallanordnung (23) ausgebildet ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Kristallanordnung ein Kristallpaar (23) aufweist.

17. Vorrichtung nach den Ansprüchen 9 und 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Kristallpaar (23) direkt in den Sensorkopf (5) eingebaut und mit Hilfe eines Füllkörpers (26) so positioniert ist, dass es Ladungen (Q) der verschieden gerichteten Kräfte (z, x) selbsttätig vektoriell summiert.

18. Vorrichtung nach den Ansprüchen 9 und 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied mindestens ein gleichnamig gepoltes Kristallpaar (23) aufweist (Fig. 10).

19. Vorrichtung nach den Ansprüchen 9 und 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied mindestens ein ungleichnamig gepoltes Kristallpaar (23, 35) aufweist (Fig. 9 und 11).

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass bei Messung von nur einer Schubspannungskomponente (δx) die Signale des ungleichnamig (+) (-) gepolten Kristallpaares (23) zusammengeschaltet und über eine Elektrode (24) auf einen Ladungsverstärker (30) geleitet werden.

21. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass für die Messung der Druckspannungskomponente (pz) und einer Schubspannungskomponente (δx) das gleichnamig gepolte Kristallpaar (-) (-) (23) mit zwei Ladungsverstärkern (30) gekuppelt wird, die ihrerseits mit einem Summiergerät (31) und einem Differenzgerät (32) verbunden sind.

22. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass für die Messung der Druckspannungskomponente (pz) und einer Schubspannungskomponente (δx) das ungleichnamig gepolte Kristallpaar (-) (+) (35) mit zwei Ladungsverstärkern (30) gekuppelt sind, die ihrerseits mit einem Summiergerät (31) und einem Differenzgerät (32) verbunden sind.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 und 22, dadurch gekennzeichnet, dass vektoriell addierte Ladungen über ein abgeschirmtes Doppelkabel (36) zu einem Verstärkergehäuse (33) geleitet werden, wo die Ladungen durch Ladungsverstärker (30) in Spannungen U1 und U2 umgewandelt wer-

den, welche hierauf durch ein Summiergerät (31) summiert und durch ein Differenzgerät (32) subtrahiert werden, und wo zur Einleitung des Messvorganges ein «Operate»-Kontakt vorgesehen ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied Quarzkristalle als piezoelektrische Kristalle (23) aufweist. 5

25. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied keramische Piezokristalle aufweist. 10

26. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied piezoresistive Siliziumkristalle aufweist.

27. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied Elemente, die mit Dehnmessstreifen oder Dünnschichttechnik ausgerüstet sind, aufweisen. 15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

5

Fig. 1

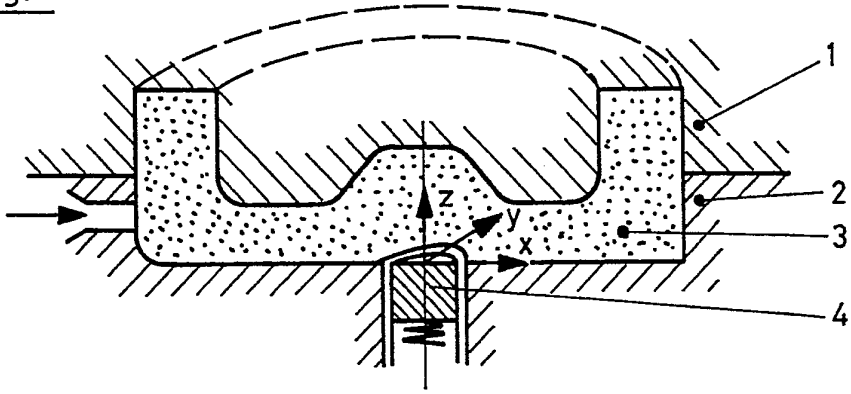


Fig. 2

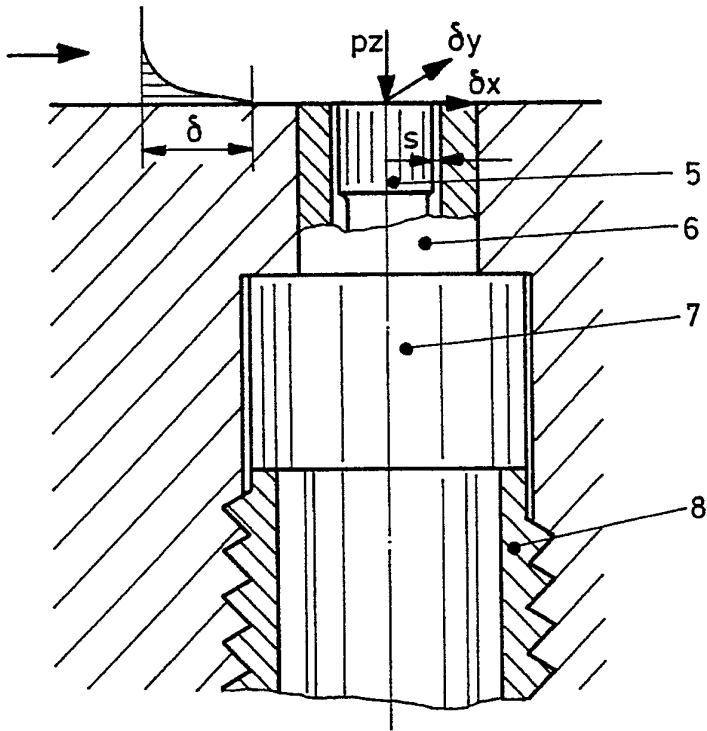


Fig. 3

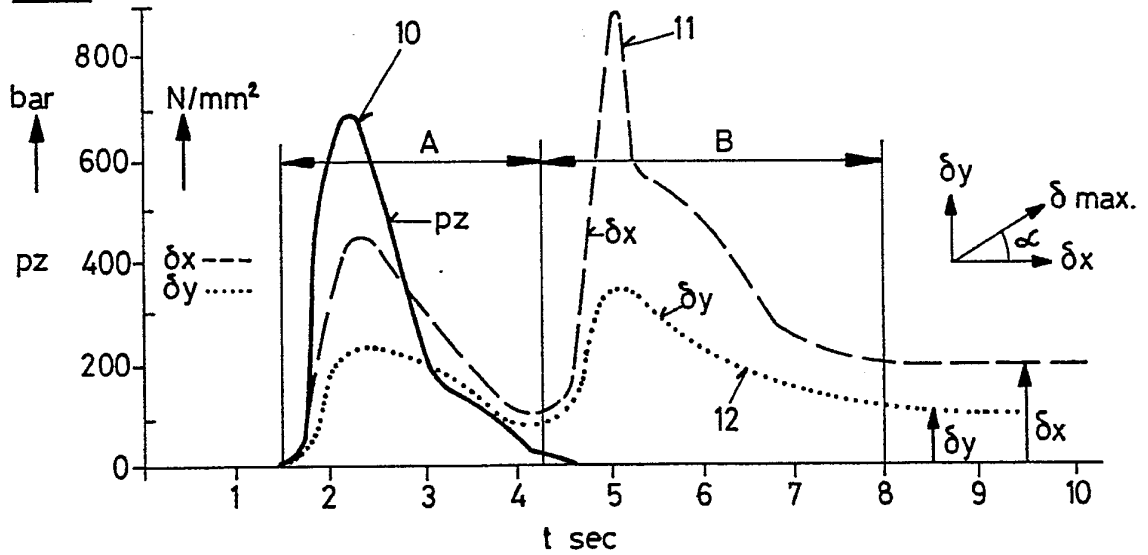


Fig. 4

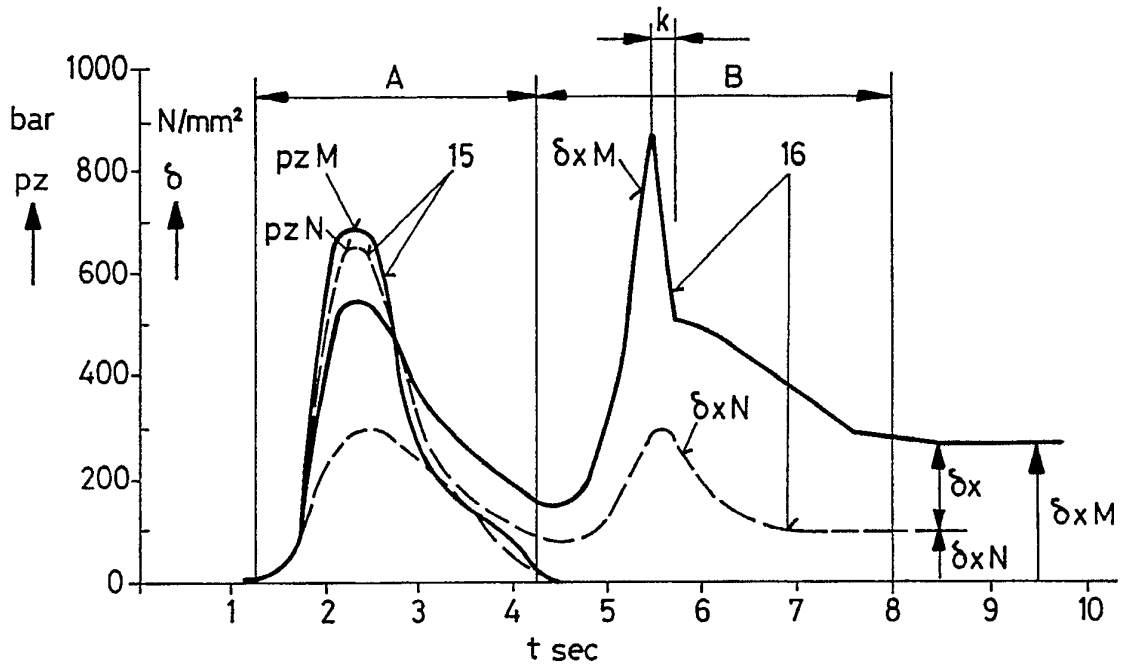


Fig. 5

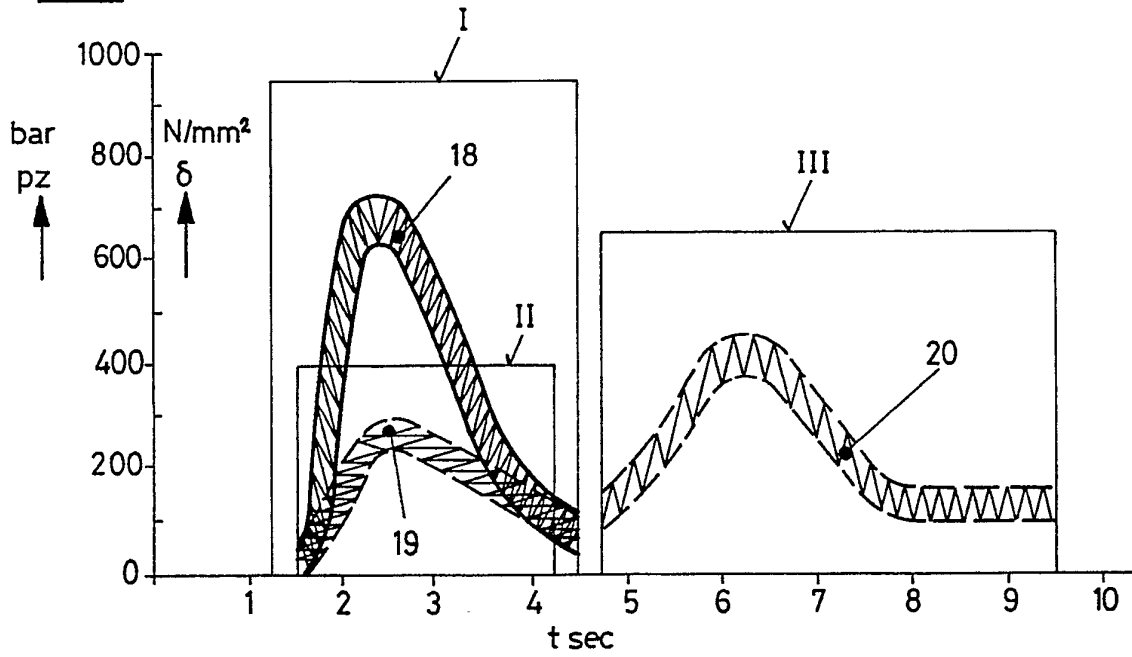


Fig. 6

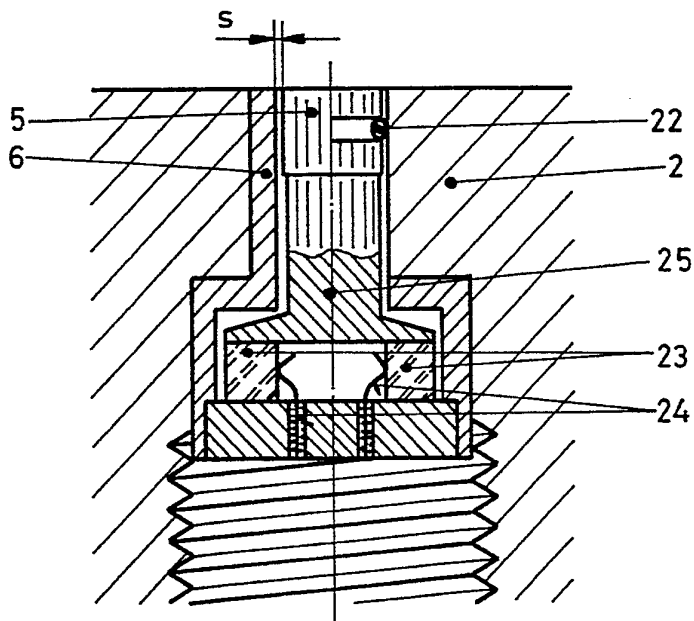


Fig. 7

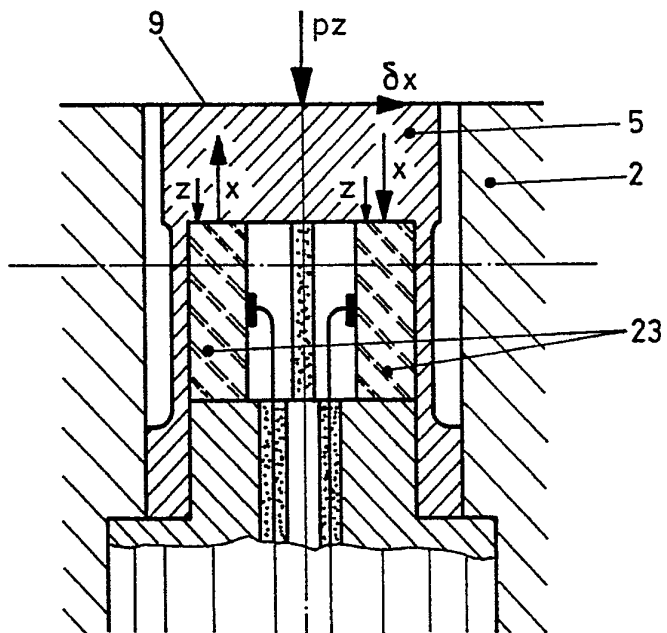


Fig. 8

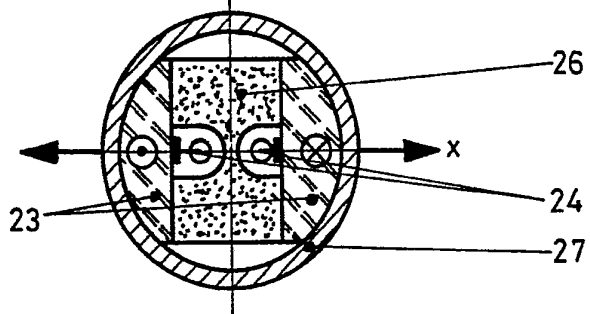


Fig.9

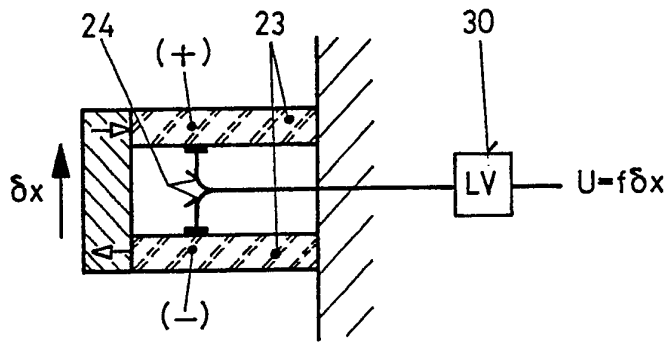


Fig.10

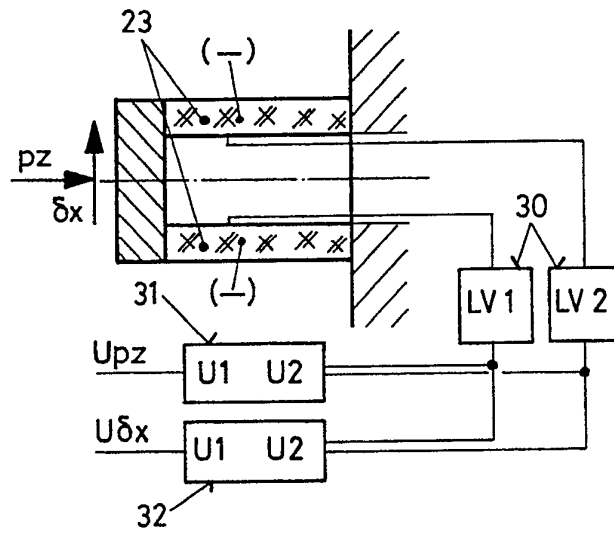


Fig.11

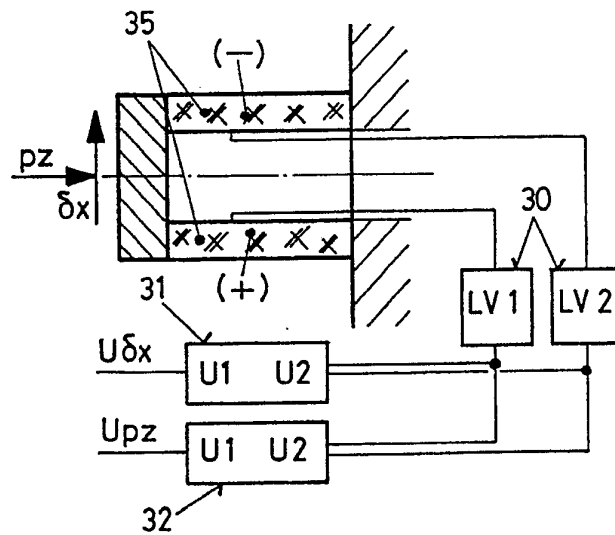


Fig. 12

