

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 80 27037**

---

(54) Procédé et dispositif de mesure de faibles distances entre deux pièces métalliques.

(51) Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). G 01 B 7/14.

(22) Date de dépôt..... 19 décembre 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 25 du 25-6-1982.

---

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, résidant en France.

(72) Invention de : Claude Doucelance.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Brevatome,  
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

---

La présente invention a pour objet un procédé et un dispositif de mesure de très faibles distances (de l'ordre de quelques 1/100 de mm) entre deux pièces métalliques.

5 Plus précisément, elle a pour objet un procédé et un dispositif permettant de mesurer de telles distances à des températures de l'ordre de plusieurs centaines de degrés et avec une très grande précision par une méthode capacitive.

10 Il existe à ce jour plusieurs systèmes capables de mesurer de faibles distances ou de faibles déplacements linéaires grâce à des méthodes capacitatives. Par exemple le dispositif peut être constitué par deux règles en matière isolante comportant une  
15 suite de bandes conductrices régulièrement espacées, l'une des deux règles pouvant se déplacer par rapport à l'autre. De telles bandes conductrices peuvent également être placées sur deux disques mobiles l'un par rapport à l'autre. Enfin, il existe  
20 des dispositifs dans lesquels le déplacement à mesurer provoque une variation de la capacité d'un condensateur, soit par modification de la distance entre les armatures, soit par modification des surfaces en regard.

25 De tels dispositifs sont souvent délicats à réaliser et n'offrent pas toujours une précision suffisante. De plus, les dispositifs actuels ne sont pas utilisables dans les domaines de température envisagés ici, c'est-à-dire plusieurs centaines de degrés.  
30

La présente invention a justement pour objet un procédé et un dispositif qui remédient à ces inconvénients en permettant de travailler à température élevée grâce à un appareillage très simple,  
35 donc peu coûteux, et avec une grande précision.

Selon la caractéristique essentielle du procédé objet de l'invention, celui-ci consiste à placer un capteur sur l'une des deux pièces, ledit capteur étant constitué par un support en matériau réfractaire et isolant électriquement, ce support présentant une face plane recouverte d'un dépôt métallique en regard de l'autre pièce, et à mesurer la capacité du condensateur formé par la surface plane métallisée du capteur et l'autre pièce, cette dernière présentant une surface plane parallèle à la surface métallisée du capteur et en regard de celle-ci, la hauteur du support du capteur étant suffisamment importante pour éviter d'introduire d'éventuelles capacités parasites.

L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé. Selon la caractéristique essentielle de ce dispositif, celui-ci est constitué par un capacimètre relié d'une part à la surface métallisée du capteur placé sur l'une des deux pièces, et d'autre part à l'autre pièce.

La capacité d'un condensateur est donnée par la formule bien connue :

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{e}$$

dans laquelle  $\epsilon_0$  représente la permittivité absolue du milieu considéré, S la surface des armatures et e la distance entre les armatures.

Il est bien évident que si  $\epsilon_0$  et S sont connus, la mesure de C permettra de calculer e.

La capacité que l'on mesure ici doit être uniquement celle du condensateur formé par la surface plane métallisée du capteur et la deuxième pièce : la distance entre ces deux surfaces étant géné-

ralement inférieure au mm, il faudra que le support du capteur ait une hauteur de plusieurs centimètres pour que la capacité entre la surface métallisée du capteur et la pièce qui le supporte soit négligeable.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée à titre purement illustratif et nullement limitatif, à l'aide des dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en coupe du dispositif objet de l'invention,

- la figure 2 représente le schéma électrique équivalent au dispositif de la figure 1,

- la figure 3 représente la courbe donnant l'indication du capacimètre en fonction de la distance  $e$  entre les armatures du condensateur,

- la figure 4 représente le capteur placé dans un logement sur l'une des deux pièces, une cale étant placée sur celle-ci afin de permettre un étalonnage,

- la figure 5 montre un exemple de réalisation avec un seul support isolant,

- la figure 6 montre un autre exemple de réalisation avec deux supports dont les faces planes métallisées sont reliées électriquement,

- la figure 7 représente deux courbes donnant en fonction du temps en minutes, les déplacements (en mm) mesurés par le dispositif de la figure 6 d'une part, et un capteur de déplacement classique d'autre part,

- la figure 8 montre un autre exemple de réalisation dans lequel le capteur est intégré à la pièce qui le supporte et non plus simplement posé sur celle-ci.

Sur la figure 1, on voit d'abord le capacimètre 8 relié d'une part au capteur 3 posé sur la

pièce 1, et d'autre part à l'autre pièce 2. Le cap-  
 teur comporte un support 4 en matière isolante : ce-  
 lui-ci présente une face plane 5 recouverte d'un dé-  
 pôt métallique 6 en regard d'une surface plane 7 de  
 5 la pièce 2.

Le matériau constituant le support du cap-  
 teur doit être non seulement isolant électriquement,  
 mais encore suffisamment réfractaire pour que l'on  
 puisse effectuer des mesures à chaud : il n'est pas  
 10 nécessaire que le point de fusion soit très élevé,  
 mais il faut surtout que le point de ramollissement  
 soit nettement supérieur à la température des pièces  
 1 et 2. Le verre pyrex et la céramique, par exemple,  
 conviennent très bien pour cet usage. La mesure de  
 15 la capacité C entre la surface métallisée 5 du cap-  
 teur et la surface plane 7 de la pièce 2 présente  
 quelques difficultés à cause des capacités parasites  
 qui s'introduisent dans le circuit de mesure.

La figure 2 montre le schéma électrique  
 20 équivalent au dispositif de mesure avec :

C = capacité à mesurer,  
 C<sub>1</sub> = capacité équivalente aux capacités existant  
 d'une part entre la surface métallisée du cap-  
 teur 3 et la pièce 1, et d'autre part entre les  
 25 fils de liaison,  
 C' = capacité de contact fils-armatures et fils-ca-  
 pacimètre.

Si M est la valeur indiquée par le capaci-  
 mètre :

$$30 \quad \frac{1}{M} = \frac{1}{C'} + \frac{1}{C + C_1}$$

avec  $C = \epsilon_0 \frac{S}{e}$  (où  $\epsilon_0$  représente la permittivité ab-  
 solue du milieu séparant les deux pièces dont on  
 veut mesurer la distance), S la surface des armatu-  
 35 res et e la distance entre les armatures.

Exprimons M en fonction de e :

$$\frac{1}{M} = \frac{C + C_1 + C'}{C' (C + C_1)} = \frac{\frac{\epsilon_0 S}{e} + C_1 + C'}{C' \left( \frac{\epsilon_0 S}{e} + C_1 \right)}$$

5

$$M = \frac{C' (\epsilon_0 S + e C_1)}{\epsilon_0 S + e (C_1 + C')}$$

10 La courbe donnant la variation de M en fonction de e est représentée figure 3. On voit d'après cette figure qu'on obtient une mesure d'autant plus précise que la pente de la courbe est plus forte. Ceci est réalisé si la valeur :

$$15 \quad C' - \frac{C_1 C'}{C_1 + C'} = \frac{C'^2}{C_1 + C'}$$

est grande. Il est donc très important d'avoir C' aussi grand que possible, c'est-à-dire de réaliser des contacts parfaits. Il peut être utile également 20 de minimiser C<sub>1</sub>, notamment en utilisant pour le capteur un support suffisamment grand pour diminuer la capacité entre sa surface métallisée et la pièce sur laquelle il est posé.

25 Dans le cas où les contacts fils-armatures et fils-capacimètre sont d'excellente qualité :

$$C' \gg C$$

$$C' \gg C_1$$

il vient alors, à partir de la relation :

$$30 \quad M = \frac{C' (C + C_1)}{C + C_1 + C'}$$

$$M \approx C + C_1$$

$$M = \frac{\epsilon_0 S}{e} + C_1$$

35

Cette dernière relation est intéressante : en effet, C<sub>1</sub> (capacité équivalente aux capaci-

tés existant entre la surface métallisée du capteur et la pièce 1 et entre les fils de liaison) est directement accessible par la mesure de  $M$  lorsque la distance  $e$  est infinie, c'est-à-dire en pratique lorsque le capteur est suffisamment éloigné de la pièce 2.

$$M \rightarrow C_1 \text{ (pour } e \rightarrow \infty \text{)}.$$

Il s'ensuit que si la surface  $S$  est connue avec précision, la mesure de  $M$  permet d'obtenir directement la valeur de  $e$ , sans passer par l'établissement d'une courbe d'étalonnage.

$$e = \frac{\epsilon_0 S}{M - C_1}$$

qui peut encore s'écrire :

$$e = \frac{\epsilon_0 S}{M - M_\infty}$$

Dans le cas où la surface plane métallisée du capteur est un disque plan de rayon  $R$ , cette relation dépend de la température par l'unique paramètre  $S$  :

$$S = \pi R^2$$

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

$\alpha$  coefficient de dilatation du support,  $t$  température d'essai.

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \alpha \Delta t$$

$$\frac{\Delta S}{S_0} = 2 \frac{\Delta R}{R_0}$$

$$\frac{\Delta S}{S_0} = 2\alpha \Delta t$$

Si on utilise un support à très faible coefficient de dilatation thermique (verre pyrex), l'erreur de mesure due à la température sera négligeable, et dans ce cas :

5

$$e = \frac{\epsilon_0 S_0}{M - M_\infty}$$

Un tel matériau doit encore avoir un coefficient de dilatation le plus faible possible et posséder la température, à laquelle il reste encore  
10 un isolant, la plus élevée possible. Enfin, il doit avoir une constante diélectrique faible. En effet, dans la formule :

$$M = \frac{\epsilon_0 S}{e} + C_1$$

15

M représente la mesure et  $C_1$  l'ensemble des capacités parasites, y compris celle du support : donc  $C_1$  augmente lorsque la constante diélectrique du support augmente.

20

Parmi les matériaux présentant toutes ces propriétés, on pourra citer notamment le verre pyrex, la céramique, le quartz, l'oxyde de thorium, la silice, l'oxyde de magnésium et l'alumine.

Pour réaliser la surface plane métallisée  
25 du capteur, il convient d'utiliser un métal se prêtant bien à la technique de métallisation sous vide : l'or, le cuivre, le nickel et le titane conviennent très bien pour cet usage.

Il existe cependant un deuxième problème  
30 lié à la température qui concerne le positionnement du capteur par rapport aux pièces 1 et 2, celles-ci pouvant être, par exemple, la matrice et le poinçon d'une presse hydraulique respectivement.

Sur la figure 4, on voit la pièce 1 qui  
35 présente un évidement 9 dans lequel est placé le



capteur 3. Sur la pièce 1 est placée une cale 10 qui empêche la descente de la pièce 2 (non représentée). Dans cet exemple, la cale 10 est réalisée dans le même matériau que la pièce 1 et a, par conséquent, le même coefficient de dilatation thermique.  $e_0$  représente la distance entre la face plane métallisée 5 du capteur 3 et la face supérieure de la cale 10 :  $e_0$  est en général mesuré à la température ambiante.

Lorsque la matrice (pièce 1) et son capteur sont portés à la température de matriçage, la distance  $e_0$  varie selon une loi qui dépend de la température, du coefficient de dilatation  $\alpha_M$  de la pièce 1, du coefficient de dilatation linéaire  $\alpha_P$  du support du capteur, enfin de la hauteur  $h_0$  du capteur. Si  $k_0$ ,  $h_0$ ,  $e_0$  sont les dimensions à la température ambiante (20°C) :

$$e_0 = k_0 - h_0$$

et si  $k$ ,  $h$ ,  $e$  sont les dimensions à la température  $t$  de matriçage :

$$e = k - h$$

avec :

$$k = k_0 (1 + \alpha_M \Delta t)$$

$$h = h_0 (1 + \alpha_P \Delta t)$$

30

donc :

$$e = k_0 - h_0 + k_0 \alpha_M \Delta t - h_0 \alpha_P \Delta t$$

35 soit :

$$e = e_0 + (h_0 + e_0) \alpha_M \Delta t - h_0 \alpha_P \Delta t$$

$$e = e_0 (1 + \alpha_M \Delta t) + h_0 (\alpha_M - \alpha_P) \Delta t$$

d'où le coefficient de correction :

$$5 \quad \eta = \frac{e}{e_0} = (1 + \alpha_M \Delta t) + \frac{h_0}{e_0} (\alpha_M - \alpha_P) \Delta t$$

le premier terme est négligeable, car  $\alpha_M \Delta t$  est petit devant 1 ; le second ne l'est pas si :

$$10 \quad \alpha_M \neq \alpha_P$$

car  $\frac{h_0}{e_0}$  est très grand ( $> 10^3$ ) ; bien évidemment, pour  $\alpha_M = \alpha_P$ , on a  $\eta = 1$ .

15 D'autre part, avec les notations utilisées plus haut, on a :

$$e = \frac{\epsilon_0 S}{M - M_\infty}$$

qui peut s'écrire :

$$20 \quad e = k \times \left( -\frac{1}{M - M_\infty} \right)$$

La constante k est déterminée au préalable par la mesure de la section S à la température T.

25 Si la température à laquelle est effectuée la mesure est  $T_1$ , on a évidemment :

$$S \longrightarrow S_1$$

30 avec :

$$S_1 = S_0 (1 + 2 \alpha_P \Delta t)$$

On écrira donc :

$$35 \quad e = \frac{\epsilon_0 S_0 (1 + 2 \alpha_P \Delta t)}{M - M_\infty} = k' \times \left( -\frac{1}{M - M_\infty} \right)$$

Cela signifie qu'il sera nécessaire de calculer à chaque nouvelle température d'essai la nouvelle constante  $k'$  : dans ces conditions, le capteur se suffit à lui-même et permet de connaître la distance  $e$  sans avoir recours à des courbes d'éta-

La figure 5 représente un mode de réalisation dans lequel le capteur est constitué par un support 4 cylindrique, creux, en verre pyrex dont l'une des extrémités est fermée afin d'obtenir une surface plane 5 recouverte d'un dépôt métallique 6.

Un autre mode de réalisation est représenté à la figure 6. Dans ce cas, le capteur comporte non plus un, mais deux supports 4a et 4b ayant chacun une surface plane métallisée 5a et 5b, les deux surfaces 5a et 5b étant reliées électriquement.

Bien qu'un étalonnage ne soit pas nécessaire, des essais ont été effectués avec un tel capteur pour mesurer la distance entre le poinçon et la matrice d'une presse hydraulique. Les supports étaient en verre pyrex et le diamètre de chaque dépôt métallique était de  $\varnothing = 36,5$  mm, la surface totale pour l'armature du condensateur est donc :

$$S = 2\pi \times \frac{(36,5)^2}{4} = 2093 \text{ mm}^2 \quad (S = 2,093 \times 10^{-3} \text{ m}^2),$$

soit en unités MKSA :

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9} \text{ F/m}$$

donc :

$$e = \frac{\frac{2\pi \times (36,5)^2}{36\pi \times 4 \times 10^9}}{M - M_\infty} = \frac{18,6 \times 10^{-15}}{M - M_\infty}$$

ou encore, en unités pratiques :

$$e_{(mm)} = \frac{18,6}{\frac{M}{(pF)} - \frac{M_{\infty}}{(pF)}}$$

5

où  $M$  et  $M_{\infty}$  sont exprimés en pF et  $e$  en mm. On a d'abord déterminé  $M_{\infty} = 88$  pF, donc :

$$e = \frac{18,6}{M - 88}$$

10

Les mesures ont été faites à la température de 350°C. Il s'ensuit que la distance initiale  $e_0$  devient  $e$  avec :

15

$$e = e_0 (1 + \alpha_M \Delta t) + h_0 (\alpha_M - \alpha) \Delta t,$$

$$\alpha_M = 12,2 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_P = 32 \times 10^{-7} \text{ (verre pyrex)}$$

20

$$h_0 = 15 \text{ mm},$$

$$e_0 = 0,09 \text{ mm},$$

25

$$\Delta t = 330^\circ\text{C}$$

Il vient :

$$e = 0,09(1 + 12,2 \times 10^{-6} \times 330) + 15(12,2 \times 10^{-6} - 32 \times 10^{-7}) \times 330$$

30

$$e = 0,09036 + 0,04455$$

$$e = 0,135 \text{ mm}$$

35

à 350°C, le contact du poinçon contre les cales de la matrice a lieu pour :

12

$$M = \frac{18,6}{0,135} + 88 = 225 \text{ pF}$$

$$M = 225 \text{ pF}$$

5 Les résultats des essais sont donnés à la figure 7. Sur cette figure, on voit d'abord la courbe 18 donnant la charge appliquée en fonction du temps en minutes, la partie horizontale correspondant à un palier à 2000 t.

10 La courbe 19 donne la distance entre le poinçon et la matrice de la presse mesurée avec le capteur représenté à la figure 6.

La courbe 20 donne les indications d'un capteur de déplacement classique solidaire du piston de la machine : ces dernières valeurs vont en décroissant car on mesure en réalité la distance entre une partie de la machine solidaire du piston, et une autre solidaire de la matrice fixe, et cette distance diminue en cours de matriçage.

20 Là aussi, on remarque :

- qu'au cours de la montée en pression, les variations de déplacements mesurées par le capteur classique sont supérieures à celles mesurées par le capteur selon l'invention : cela signifie qu'il y a une forte déformation de l'ensemble du piston ;

25 - qu'en fin de matriçage, c'est au contraire le capteur selon l'invention qui donne les variations de déplacements les plus élevées, alors que la pression est maximale : ceci correspond au fluage de la pièce en cours de matriçage.

30 Il est bien entendu que les exemples de réalisation décrits ci-dessus ne sont donnés qu'à titre indicatif et qu'on pourrait en imaginer d'autres sans sortir pour autant du cadre de l'invention.

Par exemple, le support du capteur peut être non pas simplement posé sur l'une des deux pièces, mais intégré à celle-ci. Sur la figure 8, on voit la pièce 1 qui présente une cavité 21 dans laquelle on coule le matériau qui, en se solidifiant, deviendra le support 3 du capteur. Un fil conducteur 22 est préalablement disposé à l'intérieur de cette masse liquide, de telle sorte qu'il dépasse la surface de celle-ci. Après solidification, la surface du support est rectifiée puis on dispose la couche métallique 6, celle-ci étant en contact électrique avec le fil 22 qui affleure sur la surface rectifiée du capteur.

Le dispositif objet de la présente invention présente de nombreux avantages : tout d'abord, il est très simple, donc facile à réaliser et peu coûteux. D'autre part, il permet de travailler dans des zones où règnent des températures élevées alors que les capteurs de déplacement classique ou les systèmes capacitifs actuellement utilisés ne le permettent pas. Enfin, on a une grande sensibilité puisque des déplacements de l'ordre du micromètre ont pu être décelés.

Les applications sont nombreuses et variées partout où il est utile de connaître avec précision la distance entre deux pièces métalliques portées à haute température, notamment pour des opérations de forgeage ou de matriçage. On peut par exemple, à l'aide d'appareils existant dans le commerce, obtenir une tension directement proportionnelle à la capacité mesurée : cette tension peut déclencher un détecteur à seuil, et donc commander l'arrêt du matriçage pour une valeur donnée de la distance poinçon-matrice. Cette possibilité permet notamment de garantir une parfaite reproductibilité de l'épaisseur des pièces matricées.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour mesurer avec précision à chaud et notamment à des températures supérieures à 300°C de très faibles distances entre deux pièces métalliques (1, 2), caractérisé en ce qu'il consiste à placer un capteur (3) sur l'une des deux pièces (1), ledit capteur étant constitué par un support (4) en matériau réfractaire et isolant électriquement, ce support présentant une face plane (5) recouverte d'un dépôt métallique (6) en regard de l'autre pièce (2), et à mesurer la capacité du condensateur formé par la surface plane métallisée (5) du capteur (3) et l'autre pièce (2), cette dernière présentant une surface plane (7) parallèle à la surface métallisée du capteur et en regard de celle-ci, la hauteur du support (4) du capteur (3) étant suffisamment importante pour éviter d'introduire des capacités parasites.
2. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par un capacimètre (8) relié d'une part à la surface métallisée du capteur (3) placé sur l'une des deux pièces (1), et d'autre part à l'autre pièce (2).
3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que le capteur (3) est constitué par deux supports ou davantage, les surfaces métallisées (5a, 5b) de ces différents supports étant reliées électriquement entre elles.
4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que le ou les supports du capteur (3) sont réalisés en un matériau choisi dans le groupe comportant le verre pyrex, la céramique, le quartz, l'oxyde de thorium, la silice, l'oxyde de magnésium et l'alumine.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que la surface plane (5) du capteur (3) est recouverte d'un métal choisi dans le groupe comprenant l'or, le cuivre, le nickel et le titane.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que le capteur (3) est intégré à l'une des deux pièces (1).



1 / 3

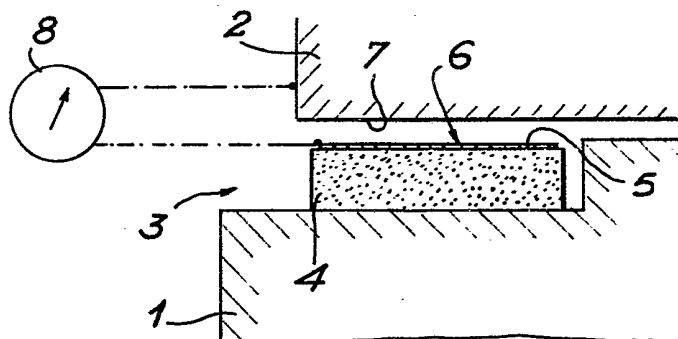


FIG. 1

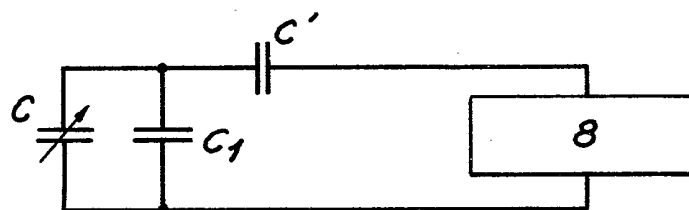


FIG. 2

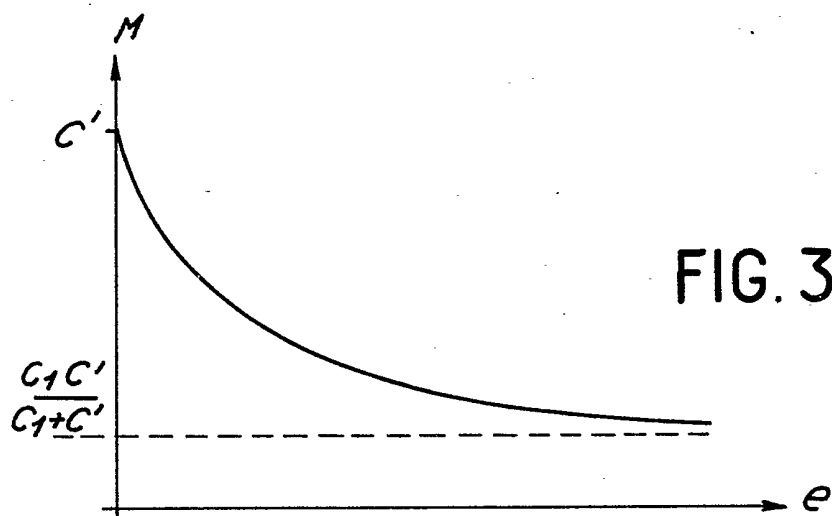


FIG. 3

2 / 3

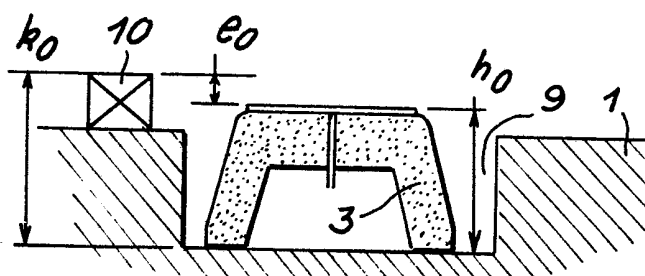


FIG. 4

FIG. 5

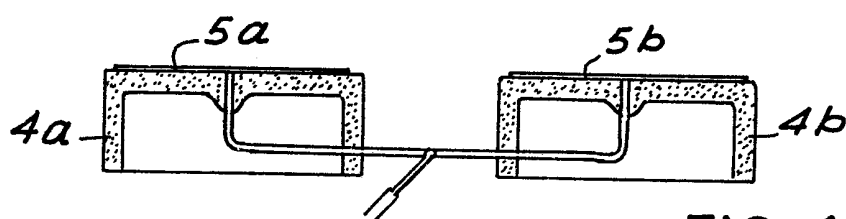
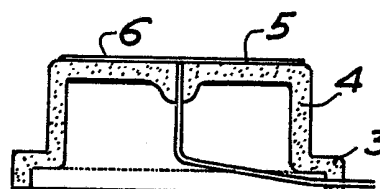


FIG. 6

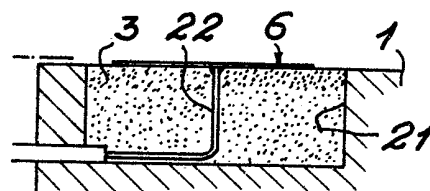
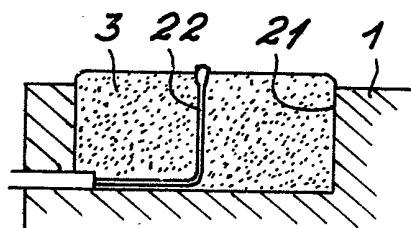


FIG. 8

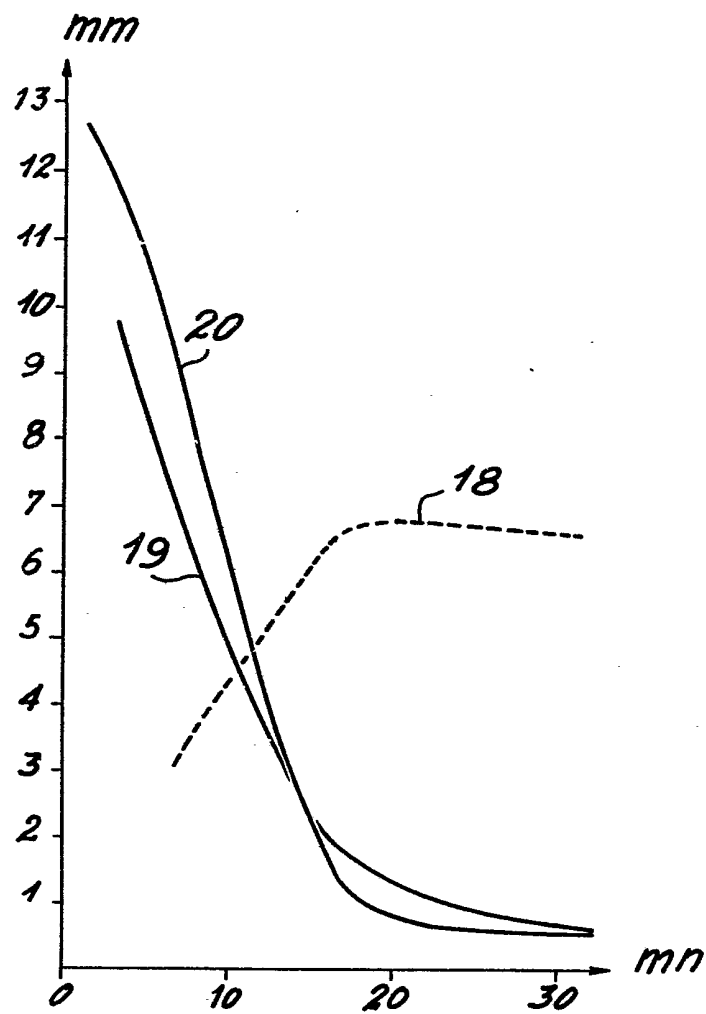


FIG. 7