

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 562 670

(21) N° d'enregistrement national :

85 05287

(51) Int Cl⁴ : G 01 N 29/04; G 01 S 15/88.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 5 avril 1985.

(30) Priorité : GB, 6 avril 1984, n° 8408900, et 16 mai 1984, n° 8412437.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 41 du 11 octobre 1985.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : *Etablissement public dit : UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY.* — GB.

(72) Inventeur(s) : Ian Cochrane Campsie, Brian Edward Southern et Jack Smethurst.

(73) Titulaire(s) :

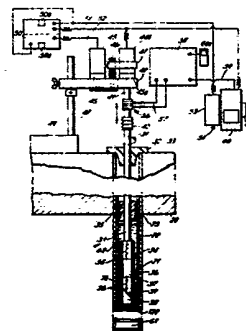
(74) Mandataire(s) : Cabinet Simonnot.

(54) Procédé et appareil de contrôle par ultrasons.

(57) L'invention concerne le contrôle des liaisons métallurgiques.

Elle se rapporte à un procédé et un appareil de contrôle selon lesquels une sonde 30 est déplacée en rotation et en translation afin qu'elle contrôle la région de la liaison métallurgique formée entre un tube 21 et un manchon 22. Les échos ultrasonores sont analysés et la liaison est déterminée comme bonne en présence à la fois d'un écho provenant de la liaison métallurgique et de la périphérie externe du tube.

Application au contrôle des échangeurs de chaleur des centrales nucléaires.



FR 2 562 670 - A1

La présente invention concerne des procédés et des appareils de contrôle par ultrasons et en particulier le contrôle de l'intégrité d'une liaison formée entre un tube et un manchon interne.

5 L'invention concerne ainsi un procédé de contrôle de l'intégrité d'une liaison métallurgique formée entre un tube et un manchon interne, le procédé comprenant la projection d'ultrasons depuis l'intérieur du manchon vers la région de la liaison, le découpage dans le temps des
10 ultrasons réfléchis afin que les échos provenant de la région de la liaison et de la périphérie externe du tube respectivement soient isolés, l'analyse circonférentielle et axiale des ultrasons, par rapport au manchon et au tube, et la formation d'un affichage de la zone analysée afin
15 que chaque position de l'affichage de la zone analysée soit identifiée, pour la position correspondante dans la zone analysée, par le fait qu'un écho provenant de la périphérie du tube externe est isolé sans écho correspondant provenant de la région de la liaison, ou non.

20 La liaison métallurgique peut être réalisée par brasage.

L'invention concerne un appareil de contrôle de l'intégrité d'une liaison métallurgique formée entre un tube et un manchon interne, comprenant un ensemble à sonde ultra-
25 sonore destiné à être introduit dans le manchon afin qu'il dirige des ultrasons vers la région de la liaison, un dispositif destiné à faire tourner la sonde et à la déplacer longitudinalement afin qu'il analyse le manchon et le tube avec les ultrasons, circonférentiellement et axialement, la sonde
30 étant disposée afin qu'elle reçoive les ultrasons réfléchis, un premier et un second dispositif de découpage destinés à assurer une discrimination dans le temps des ultrasons réfléchis, reçus par la sonde afin que les échos provenant de la région de la liaison et de la périphérie externe du tube
35 soient isolés, et un dispositif destiné à former un affichage de la zone analysée afin que chaque position de l'affichage correspondant à la zone analysée soit identifiée en fonction

du fait que, pour la position correspondante dans la zone analysée, un écho est saisi par le second dispositif de découpage sans écho correspondant saisi par le premier dispositif de découpage, ou non.

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 est une coupe axiale d'une partie d'un échangeur de chaleur ;

10 la figure 2 est un schéma de l'appareil de contrôle selon l'invention ;

les figures 3, 5C et 7C sont des coupes partielles d'une liaison tube-manchon, représentant des signaux ultrasonores ;

15 les figures 4a et 4b représentent des signaux et leurs enregistrements ;

les figures 5A et 5B représentent des signaux et leurs enregistrements ;

20 les figures 6A à 6D représentent diverses conditions de brasage et des signaux ultrasonores ;

les figures 7A et 7B représentent des signaux et leurs enregistrements ;

la figure 8 est une perspective d'un appareil ; et

25 la figure 9 est un diagramme synoptique en partie sous forme schématique de l'appareil de contrôle.

La figure 1 représente une partie d'un échangeur de chaleur à calandre multitubulaire qui comporte au moins une plaque à tubes 20 dans laquelle sont soudés, en 23, des tubes 21, espacés latéralement et ayant des extrémités ouvertes 30 (un seul est représenté). Lors de l'utilisation, un premier fluide circule dans les tubes 21 alors qu'un second fluide circule dans l'enveloppe si bien qu'un transfert de chaleur est assuré entre les fluides. Lorsqu'une fuite se crée dans le tube en 23, elle peut être réparée par introduction d'un 35 manchon tubulaire 22 d'épaisseur à peu près égale à celle du tube 21 dans le tube défectueux 21, et par liaison de manière étanche des régions d'extrémités du manchon au tube et à la

plaque à tubes afin que la soudure défectueuse 23 soit recouverte.

Un tel échangeur de chaleur peut être utilisé dans le circuit évaporateur d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides par exemple lorsque le premier fluide est de l'eau et le second du sodium liquide, mais l'invention s'applique à d'autres exemples dans lesquels un manchon a été fixé dans un tube afin qu'il recouvre un défaut.

Comme l'indique la figure 1, la région de l'extrémité inférieure 26 du manchon 22 est fixée au tube 21 par brasage à haute température, le matériau de brasage étant logé dans des gorges annulaires 25 formées dans le manchon entre des portées 24. L'extrémité supérieure 27 du manchon est soudée par explosion à la plaque 20 à tubes, par détonation d'une charge d'un matériau explosif placé dans le manchon 22 afin que le manchon se dilate radialement et vienne bien en butée contre la surface 21a du trou de la plaque à tubes, d'une manière violente, si bien que le manchon est lié métallurgiquement à la plaque à tubes.

Le brevet britannique n° 2 032 559 donne d'autres détails de ces opérations.

Il est souhaitable de vérifier l'efficacité du raccordement par brasage dans la région inférieure 26, et l'invention concerne ce contrôle.

L'appareil 30 représenté sur la figure 2 est destiné au contrôle ultrasonore de l'efficacité de l'intégrité de la brasure, c'est-à-dire au contrôle d'une liaison imparfaite du matériau de brasure avec le manchon et avec le tube.

L'appareil 30 comporte un tube allongé 31 destiné à être placé axialement dans le manchon 22 et sur lequel est monté un socle supérieur 32 destiné à être au contact de la surface supérieure 33 de la plaque à tubes 20. Une sonde 34 est portée à l'extrémité inférieure du tube 31 et la longueur d'introduction de la sonde dans le tube 21 est déterminée par la position d'un support 42 sur le tube 31, cette position étant réglable axialement. Un support annulaire inférieur 35 est destiné à coopérer avec le manchon et avec le support

supérieur afin qu'il limite le déplacement excentrique éventuel du tube 31. Les supports peuvent être formés de polytétrafluoréthylène ou de "Nylon". La sonde 34 comporte un capot cylindrique creux 36 fermé à ses extrémités et contenant un transducteur ultrasonore 37 monté axialement, destiné à former les impulsions courtes et au-dessous duquel se trouve un miroir plan 38 faisant un certain angle avec l'axe du tube et destiné à réfléchir le faisceau acoustique latéralement, en direction sensiblement perpendiculaire à l'axe du manchon, par une fenêtre 19 formée dans le capot 36 et vers la région 26 de la brasure. La résolution, c'est-à-dire la surface interne du manchon qui reçoit le faisceau ultrasonore focalisé 70, peut être par exemple de 1 mm^2 . Lors du fonctionnement, la sonde est introduite axialement jusqu'à la position voulue, en face de la partie inférieure de la région de la brasure, et elle est alors entraînée en rotation de manière continue dans un sens, pendant que le transducteur est excité et les signaux réfléchis par la région de la brasure sont reçus et enregistrés pour être examinés.

Le tube 31 est raccordé, à son extrémité supérieure, par un accouplement flexible 40 à un arbre 41 qui passe dans le support 42 et rejoint un moteur pas à pas 44A formant un ensemble d'entraînement en rotation du tube 31 par l'intermédiaire d'un réducteur 45a. Un moteur pas à pas 43 d'entraînement en direction verticale est monté sur le support 42 et il peut faire tourner un réducteur 45 qui fait tourner une tige filetée 46 coopérant avec un bras 47 fixé à l'ensemble 44A d'entraînement en rotation. Ainsi, lorsque le réducteur 45 et la tige 46 tournent, l'ensemble 43 et le tube 31 montent ou descendent suivant le sens de rotation du moteur 43. Le support 42 est porté par une structure 48 portée de façon réglable par la plaque 20, par l'intermédiaire d'un dispositif 49 de maintien magnétique.

Les moteurs 43, 44A sont alimentés par des alimentations 50 par l'intermédiaire de connexions 51, 52 sous la commande automatique d'un ensemble 53, ayant un dispositif manuel de réglage repéré schématiquement par la référence 54.

Les réducteurs 45, 45A peuvent être tels qu'une rotation de 360° correspond à 200 pas. Les réducteurs 45, 45A peuvent être choisis afin qu'ils donnent une vitesse optimale de balayage en hélice convenant à l'opération de contrôle. Des modifications de la relation entre la vitesse de rotation de la sonde et son pas peuvent être obtenues par réglage séparé d'oscillateurs 50a, dans les alimentations 50. Un mode d'analyse progressif peut être obtenu par commande successive des alimentations 50 afin que la sonde fasse un tour pour chaque déplacement élémentaire ou pas axial.

Les moteurs 43, 44A fonctionnent simultanément si bien qu'ils assurent une analyse en hélice sur toute la longueur de la région de brasage 26, la vitesse de déplacement étant une vitesse moyenne constante.

Le transducteur 37 est excité par l'intermédiaire des connexions électriques 55 formées le long du tube 31 et reliées à des bagues collectrices 56 montées sur l'arbre 41, les bagues étant elles-mêmes reliées par des lignes 57 à un appareil 58 de contrôle ultrasonore qui est relié électriquement en 59 à un enregistreur 60 en fac-simile et à un dispositif 60a d'affichage visuel à oscilloscope.

L'enregistreur 60 est piloté par un moteur pas à pas 44B par l'intermédiaire de l'alimentation 50 si bien que le déplacement de l'enregistreur est synchronisé sur le déplacement axial et en rotation du transducteur 37 pendant le contrôle.

Lors de l'utilisation, un bouchon étanche 61 est introduit dans le manchon 22 et un liquide 62 de couplage ultrasonore, par exemple de l'eau contenant 1 % en poids de nitrite de sodium en solution, constituant un inhibiteur de corrosion, est versé dans le manchon au-dessus du bouchon ou tampon 61, par exemple jusqu'à un niveau qui se trouve à une distance de 21 à 42 cm au-dessus de la région 26 de brasage. Dans un réacteur, les éléments entourant le tube 21 sont chauds si bien que des bulles peuvent apparaître dans le liquide de couplage, la quantité de bulles qui peut perturber l'analyse ultrasonore, étant réduite à l'aide du tampon 61

qui limite la quantité de liquide de couplage utilisé.

Le cas échéant, une brosse cylindrique peut être introduite avec des précautions dans le manchon afin qu'elle frotte doucement la paroi, jusqu'au-delà de la région de brasage, et elle peut alors être retirée soigneusement, cette caractéristique facilitant l'extraction des bulles indésirables.

La sonde est alors introduite dans le manchon 22 par descente du support 42 placé sur un montant 48, à la profondeur voulue. L'ensemble 53 de commande est alors excité afin qu'il mette en route le dispositif 43 d'entraînement axial et qu'il alimente le transducteur 37 ; lors de la détection du chanfrein 122 du manchon, un signal est formé et il est utilisé pour la mise en route simultanée du moteur 44A d'entraînement en rotation et de l'enregistreur 60, comprenant un dispositif destiné à former un enregistrement des signaux réfléchis par la région de brasage 26, et l'oscilloscope 60a destiné à afficher les signaux à haute fréquence est relié à l'ensemble 58.

L'ensemble de contrôle 58 est décrit plus en détail dans la suite du présent mémoire et il assure un déclenchement d'interface afin qu'il compense toute excentricité dans la rotation de la sonde, qu'il règle automatiquement le gain donnant une régularisation des signaux, et qu'il assure le découpage et le contrôle des signaux renvoyés.

La figure 3 représente les conditions d'une bonne liaison. Dans ce cas, le faisceau ultrasonore 70 provenant du transducteur forme deux faisceaux réfléchis, le faisceau 71 provenant de la face interne 22a du manchon 22 et le faisceau 72 provenant de la face externe 21b du tube 21 ; aucun faisceau tel que 73 n'est réfléchi par l'interface 22b du manchon 22 et du tube 21. Les faisceaux 72(a), 72(b), 72(c) sont des réflexions de réflexions, entre les faces 22a et 21b.

Les figures 5A à 5C portent des indications analogues dans le cas d'une absence de liaison, c'est-à-dire lorsque le signal 73 est présent. Les signaux 78 sont des réflexions

multiples par l'interface 22b sans liaison, c'est-à-dire qu'une partie du faisceau initial réfléchi par la face 22b est réfléchi par la surface 22a puis à nouveau par la face 22b, etc. L'enregistrement correspondant est indiqué en 79.

5 L'ensemble 58 a un dispositif de découpage ou porte si bien qu'il n'est sensible qu'au signal réfléchi dans une période prédéterminée de découpage qui est réglable et qui commence à un moment prédéterminé (qui est aussi réglable) après le lancement du faisceau 70 du capteur. La période de
10 découpage est réglée de manière qu'un signal réfléchi ne soit reçu que lorsque le faisceau 73 est présent, c'est-à-dire que la période de découpage commence après que le signal 71 a atteint le transducteur 37 et se termine avant que le signal 72 n'atteigne le transducteur 37. La figure 4A représente
15 cette disposition et notamment l'affichage de l'oscilloscope 60a, le faisceau réfléchi total étant représenté en 74 et la période de découpage en 76. Les signaux 71 et 72 sont aussi représentés. L'enregistrement correspondant sur l'enregistreur 60 est repéré par la référence 77.

20 Les signaux de gain et de découpage de l'ensemble 58 sont étalonnés ou réglés à l'aide d'un signal 70 d'amplitude connue, et à l'aide d'un échantillon de brasage qui comprend une petite zone non liée et un trou percé dans le manchon.

Dans le cas de l'utilisation précitée d'un seul
25 intervalle de découpage, un inconvénient est dû au fait, en cas de perte du signal (c'est-à-dire d'irrégularité de la surface 22a si bien qu'aucun signal 70 ne pénètre dans le manchon 22) ou lorsque le signal est diffusé aux bords des gorges 25 de la figure 1, une indication portée sur l'enregist-
30 trement indique une bonne liaison. Cet inconvénient est supprimé par considération des seules zones d'enregistrement correspondant aux zones de brasage entre les portées 24 mais non au niveau des gorges 25, mais il est préférable d'utiliser un système de découpage tel que toutes les zones de l'enre-
35 gistrement indiquées comme représentant une bonne liaison par l'enregistrement sont en fait effectivement liées. Cet arrangement est représenté sur les figures 6A à 6D. Un second

module de découpage est ajouté à l'ensemble 58 et permet une sélection des signaux destinés aux régions liées et non liées, comme indiqué sur les figures 7A à 7C.

Il faut noter que, comme le manchon 22 et le tube 21 ont des épaisseurs analogues, le signal 78 qui est réfléchi à nouveau a un harmonique 78A (figure 5A) qui apparaît sous forme d'une réponse à la même position que le signal 72 (figure 4a). Les figures 6A à 6D montrent comment ce phénomène peut être supprimé.

Ainsi, sur la figure 6A, une région 80 sans liaison indique la présence d'un signal dans les deux zones de découpage, donnant un niveau logique 1,1.

Sur la figure 6B correspondant à une irrégularité à l'interface, un signal n'est présent que dans le premier intervalle de découpage (état logique 1,0). Sur la figure 6C (liaison bonne), il n'y a aucun signal dans le premier intervalle mais il y en a un dans le second (état logique 0,1). Sur la figure 6D (perte du signal), aucun des intervalles ne donne de signal (état logique 0,0).

Les signaux des deux intervalles sont transmis à un circuit logique de sommation qui travaille de la manière suivante :

Etat du signal	Premier intervalle	Deuxième intervalle	Sortie	Indication de l'enregistrement
Pas de liaison				
Figure 6A	1	1	0	noir
Pas de liaison				
Figure 6B	1	0	0	noir
Liaison				
Figure 6C	0	1	1	blanc
Perte ou diffusion du signal -Figure 6D	0	0	0	noir

Ainsi, une zone claire sur l'enregistrement indique une bonne liaison.

Le relevé de l'enregistreur est réalisé de manière que, lorsque la sonde tourne progressivement, l'enregistrement qui se déplace d'une manière correspondante indique une zone claire

pour une liaison convenable en face du miroir et sombre pour une liaison non convenable ou inacceptable. Un microprocesseur 87 peut être utilisé afin qu'il lise le relevé terminé et indique si par exemple 80 % de la surface est claire ou donne
5 une valeur numérique correspondant à la proportion de surface d'enregistrement qui est claire, indiquant ainsi si la brasure dans son ensemble est satisfaisante. Le microprocesseur peut être utilisé pour la commande des déplacements des moteurs pas à pas et pour la mémorisation d'informations ultrasonores con-
10 cernant la brasure, sur une bande magnétique.

L'étalonnage est réalisé avec un liquide de couplage chauffé par un dispositif de chauffage par immersion afin que le liquide soit à la température de contrôle du tube, et une sonde auxiliaire est maintenue préchauffée par immersion dans
15 ce liquide afin que les problèmes posés par les variations de température soient résolus.

Les intervalles de lecture sont suffisamment larges pour qu'ils tiennent compte de l'amincissement du tube et du manchon dû au laminage ou de l'excentricité du raccord brasé,
20 par rapport à l'axe central du tube. L'excentricité, dans la rotation de la sonde est compensée par déclenchement par l'interface correspondant à un écho donné par l'eau.

Des périodes délimitées par les intervalles de découpage 1 et 2, la période séparant ces intervalles et les moments
25 auxquels ces intervalles commencent peuvent tous être réglés.

Dans un exemple, la sonde est à 50 cm environ de la surface 33, en position de travail.

La figure 8 représente un chariot destiné à porter l'appareil 30, comprenant une poignée 80 reliée à un corps 81
30 monté sur des roulettes 82 et portant un bâti 83, les roues étant dans des rigoles 84. Le réservoir de liquide chauffé de couplage 62 est repéré par la référence 85, et l'appareillage d'étalonnage et la sonde auxiliaire sont montés en 86 dans le réservoir 85.

35 La figure 9 est un diagramme synoptique de l'organe de commande. Un générateur d'impulsions et émetteur d'ultrasons 250 déclenche un ensemble d'émission-réception 251 destiné à

émettre par exemple 5000 impulsions par seconde. Les échos sont reçus par l'ensemble 251 qui les transmet à un premier amplificateur 252 qui a un dispositif classique de réglage automatique du gain, assuré par un circuit 253, et ils par-
5 viennent à un second amplificateur 254 qui alimente un générateur 255 de retard et le circuit 253. Le générateur 250 et un générateur 255 alimentent le circuit 253. L'amplificateur 254 et le générateur 255 alimentent des détecteurs déclenchés 256, 257 qui alimentent un détecteur double 258 qui est lui-
10 même relié à l'organe 53 de commande d'évènement qui transmet des signaux à une imprimante à deux styles ou à un appareil numérique 259, avant transmission à un enregistreur 60. Celui-ci se déplace en synchronisme avec les moteurs pas à pas.

Le générateur 255 de retard, lorsqu'il est commandé
15 par le circuit 250, est préparé de manière que, lorsqu'il reçoit un écho de l'amplificateur 254, il excite les détecteurs 256, 257 qui assurent le début et la fin des intervalles à des moments étalonnés ou préréglés. Les signaux des intervalles sont détectés par le détecteur double 258 et donnent l'enregistre-
20 ment convenable sur l'enregistreur 60.

Sur la figure 9, l'appareillage de commande destiné à assurer l'analyse longitudinale et circonférentielle de la sonde est analogue de façon générale à celui qui est représenté sur la figure 2, comme l'indique le rectangle 248.

25 Bien qu'on ait décrit l'invention dans le cas du contrôle de la liaison métallurgique formée par une brasure, il faut noter qu'elle s'applique à toutes les liaisons métallurgiques, notamment formées par soudage par explosion ou par friction.

REVENDICATIONS

1. Procédé de contrôle de l'intégrité d'une liaison métallurgique (23) formée entre un tube (21) et un manchon interne (22), caractérisé en ce qu'il comprend la direction
5 d'ultrasons de l'intérieur du manchon vers la région de la liaison (23), le découpage des ultrasons réfléchis afin que les échos provenant de la région de la liaison et de la périphérie externe du tube respectivement soient isolés, l'analyse circonférentielle et axiale du manchon et du tube à l'aide des
10 ultrasons, et la formation d'un affichage de la zone analysée afin que chaque position de l'affichage de la zone analysée soit identifiée par le fait qu'un écho est isolé, en provenance de la périphérie du tube externe, sans écho correspondant de la région de la liaison, pour la position correspondante de la
15 zone analysée, ou non.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend, à chacune desdites positions dans la zone analysée, la discrimination entre les conditions suivantes :
(a) la présence d'échos provenant à la fois de la région de la
20 liaison et de la périphérie externe, (b) la présence d'un écho provenant de la région de la liaison avec un écho accompagnateur quelconque provenant de la périphérie externe, (c) la présence d'un écho provenant de la périphérie externe sans écho accompagnateur provenant de la région de la liaison, et
25 (d) l'absence de tout écho à la fois de la région de la liaison et de la périphérie externe.

3. Appareil de contrôle de l'intégrité d'une liaison métallurgique (23) formée entre un tube (21) et un manchon interne (22), caractérisé en ce qu'il comprend un ensemble à
30 sonde ultrasonore (30) destiné à être introduit dans le manchon (22) afin qu'il dirige des ultrasons vers la région de la liaison, un dispositif (44A, 43) destiné à faire tourner la sonde et à la déplacer longitudinalement afin qu'elle analyse circonférentiellement et axialement le manchon et le tube à l'aide
35 des ultrasons, la sonde étant disposée afin qu'elle reçoive des ultrasons réfléchis, un premier et un second dispositif de découpage (256, 257) destinés à assurer la discrimination

- dans le temps des ultrasons réfléchis reçus par la sonde, afin que les échos respectifs provenant de la région de la liaison et de la périphérie externe du tube soient isolés, et un dispositif d'affichage (60) destiné à donner un affichage de la
- 5 zone analysée afin que chaque position de l'affichage de la zone analysée soit identifiée par le fait qu'un écho est saisi par le second dispositif de découpage sans écho accompagnateur saisi par le premier dispositif de découpage, pour la position correspondante de la zone analysée, ou non.

Fig. 1.

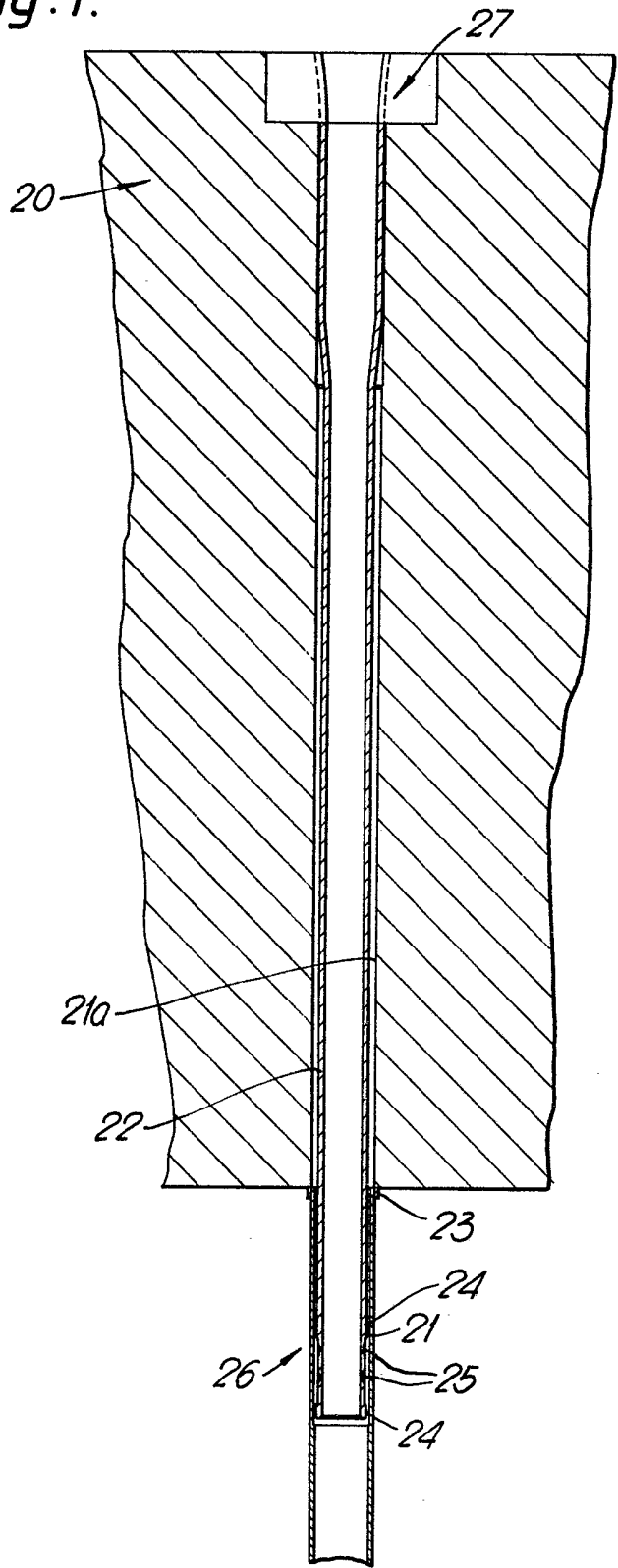


Fig. 2.

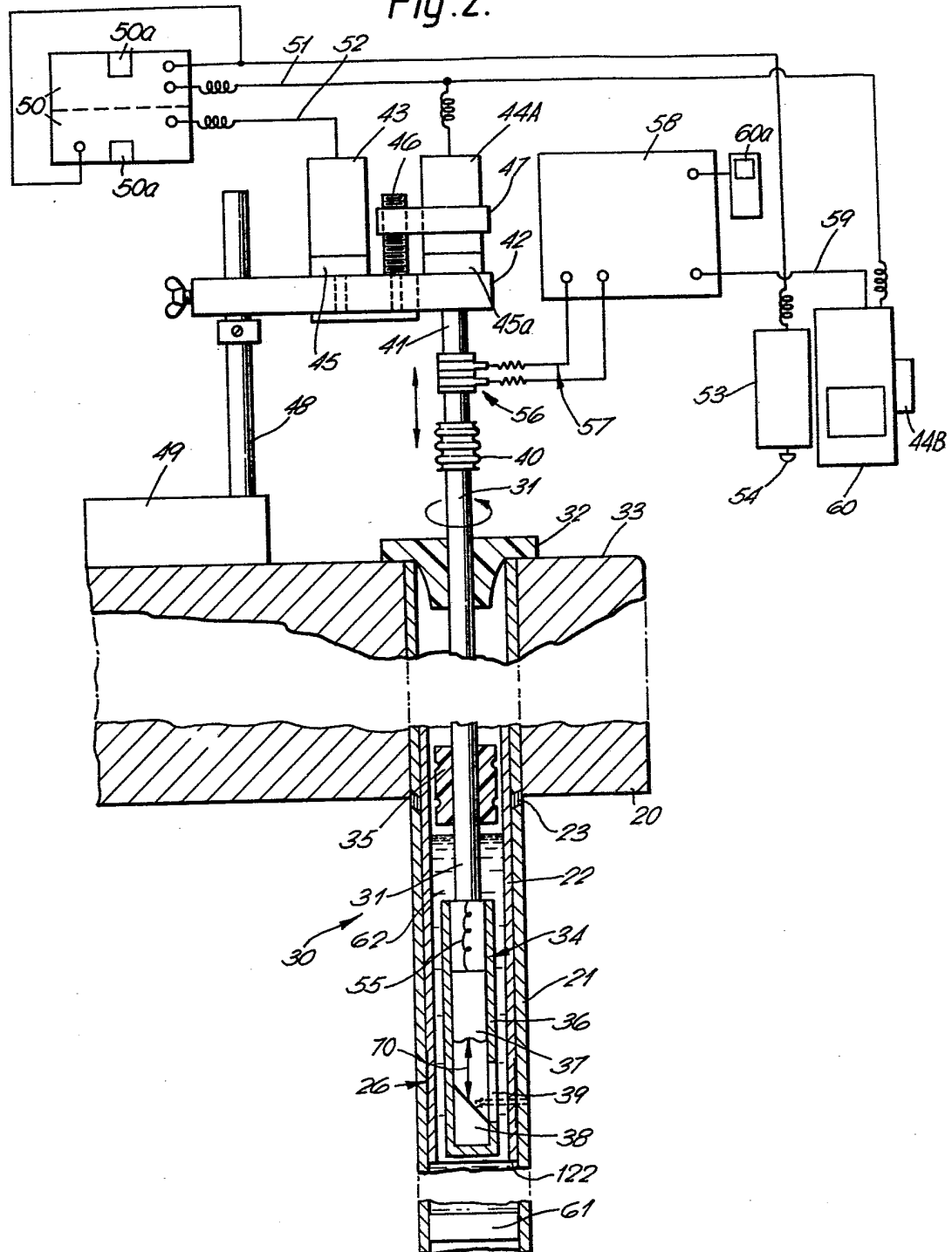


Fig. 3.

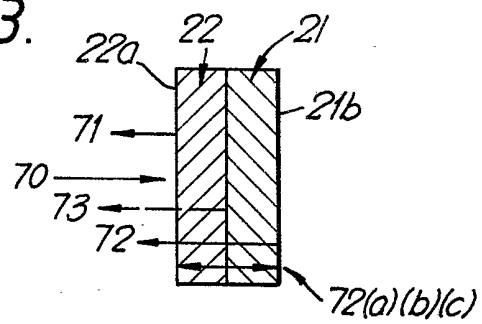


Fig. 4a.

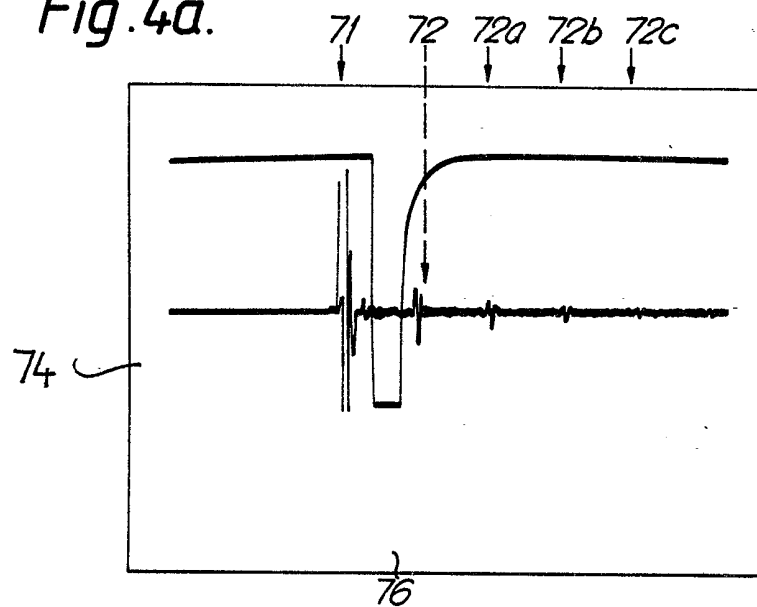


Fig. 4b.

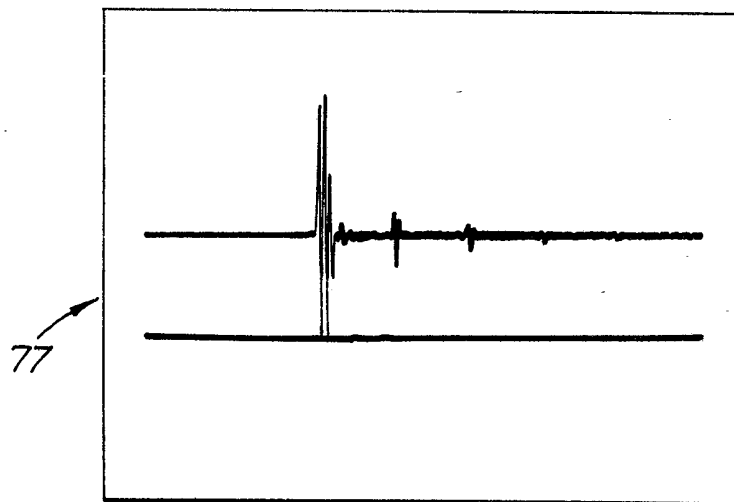


Fig. 5A.

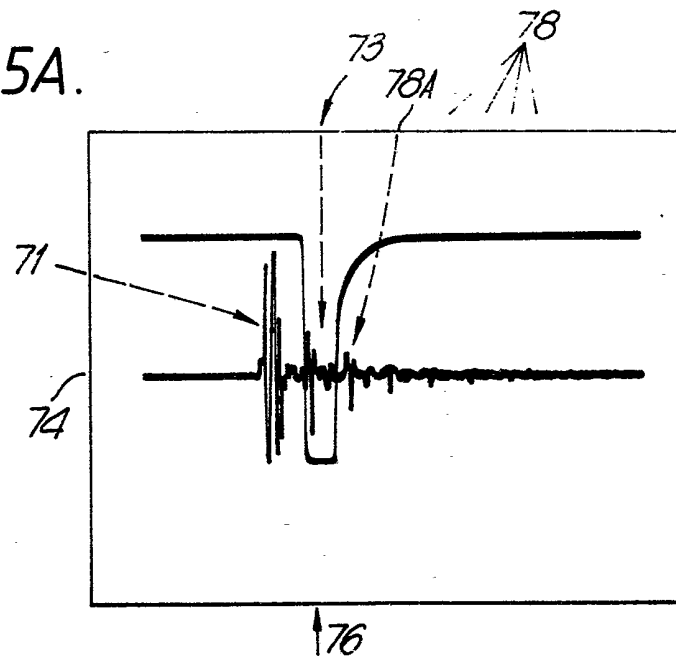


Fig. 5B.

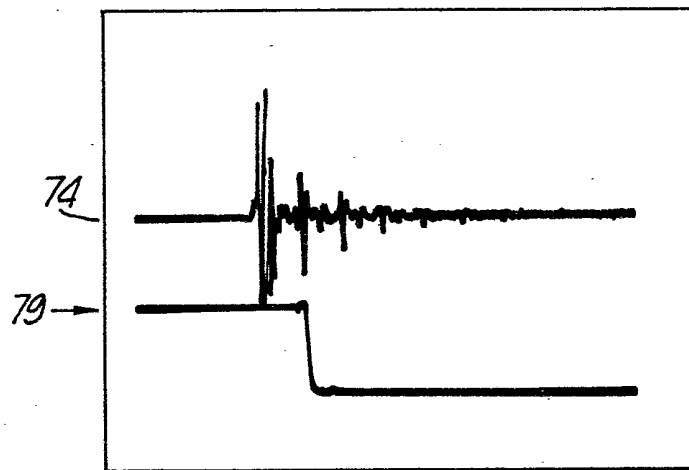


Fig. 5C.

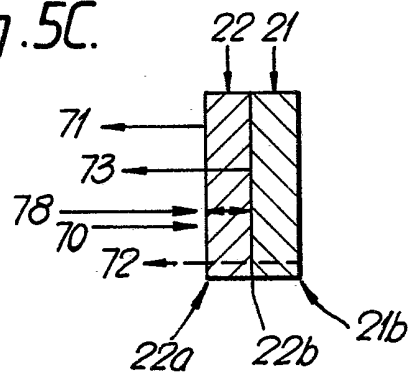


Fig. 6A.

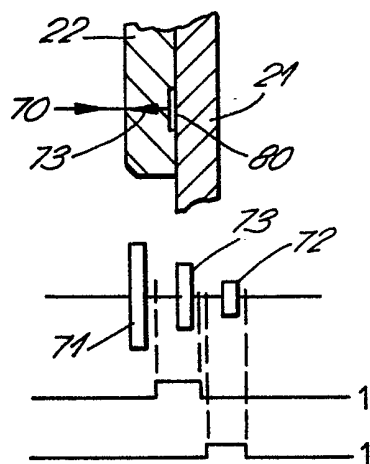


Fig. 6B.

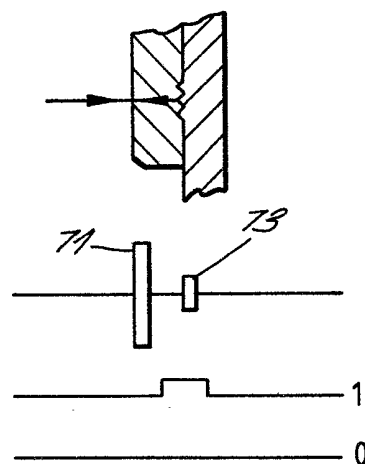


Fig. 6C.

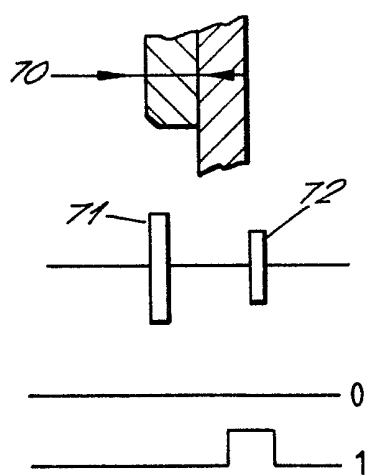


Fig. 6D.

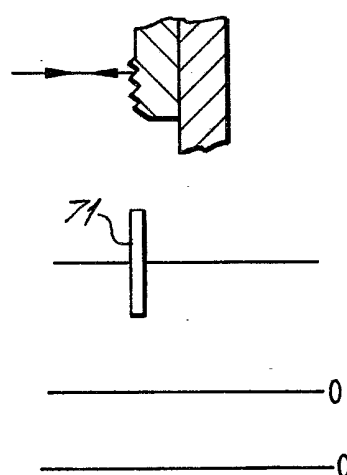


Fig. 7A.

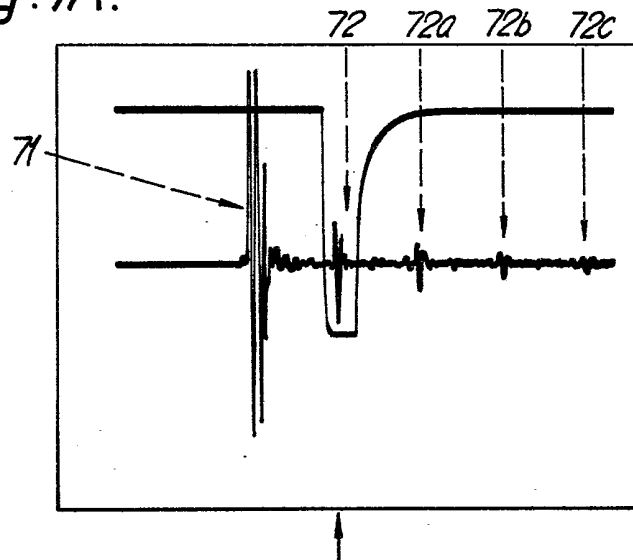


Fig. 7B.

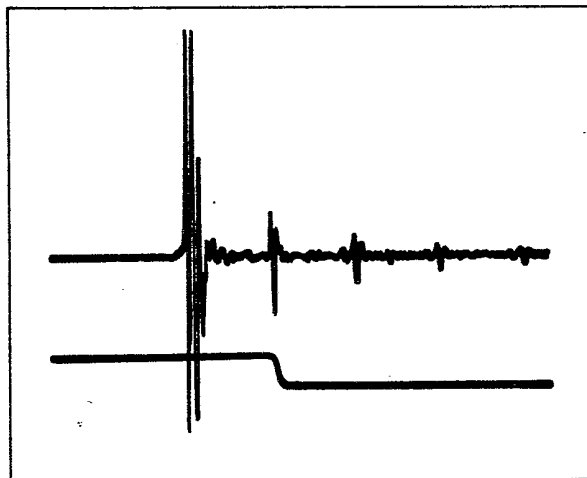


Fig. 7C.

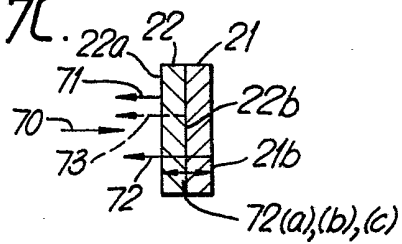


Fig. 8.

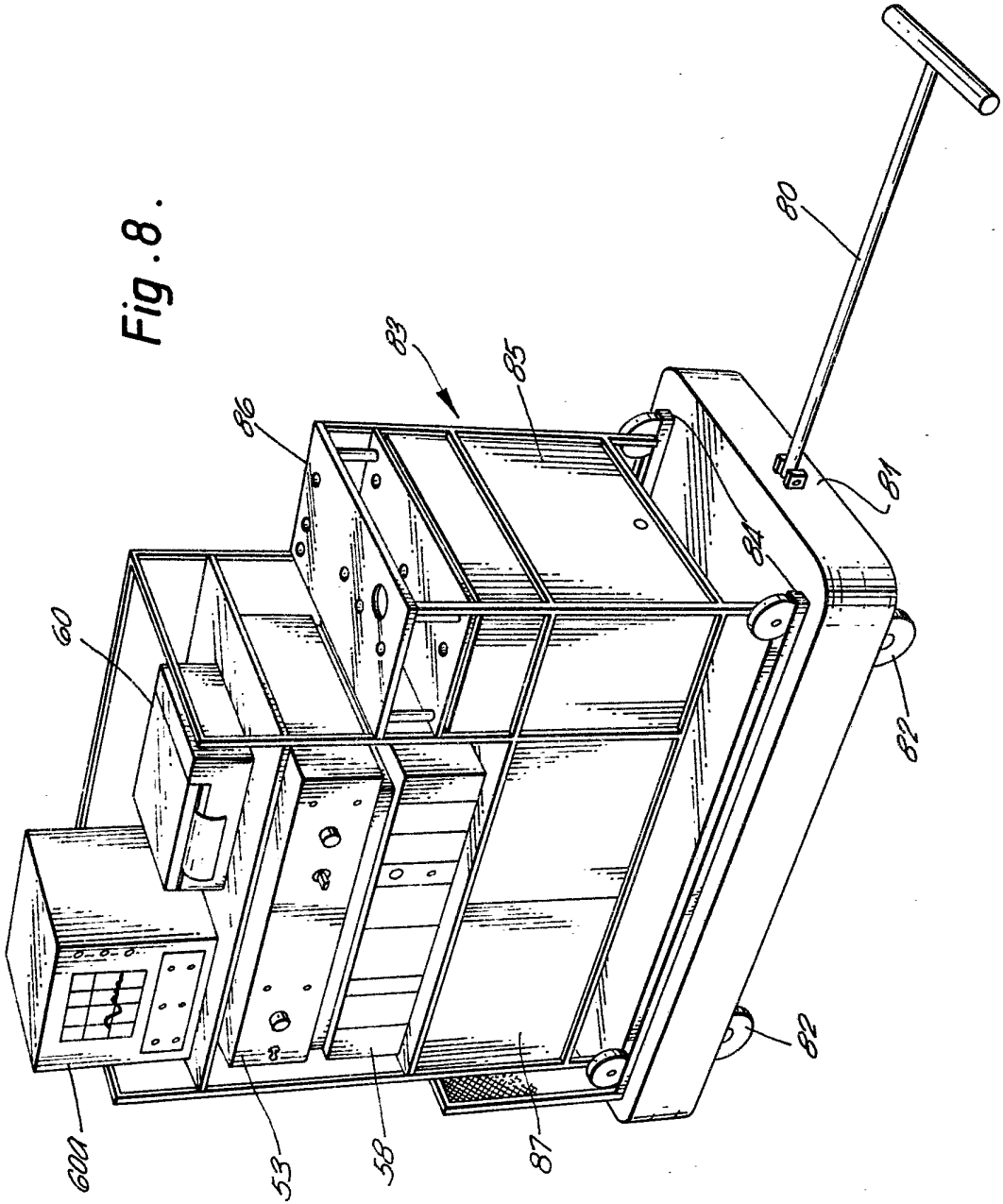


Fig. 9.

