



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 291 599 A2

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
12.03.2003 Bulletin 2003/11

(51) Int Cl.7: **F41A 31/02**

(21) Numéro de dépôt: **02292181.1**

(22) Date de dépôt: **05.09.2002**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR**
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(72) Inventeurs:
• **Balbo, Patrick**
18000 Bourges (FR)
• **Sagnes, Michel**
34110 Frontignan (FR)

(30) Priorité: **10.09.2001 FR 0111674**

(74) Mandataire: **Célanie, Christian**
Cabinet Célanie,
13 route de la Minière,
BP 214
78002 Versailles Cedex (FR)

(71) Demandeur: **GIAT INDUSTRIES**
78000 Versailles (FR)

(54) Dispositif et procédé de détermination de l'usure d'un tube, tel un tube d'une arme

(57) L'invention concerne un dispositif de détermination de l'usure de la paroi interne d'un tube 2, notamment le tube d'une arme.

Il comprend un outillage endoscopique 1, 3, 5 d'inspection de la paroi interne du tube et un calculateur 4, ledit outillage comprenant un mobile d'inspection 1 des-

tiné à progresser dans le tube 2, ledit mobile étant muni d'une tête d'inspection rotative équipée d'un module laser de mesure de distance de la paroi interne, le mobile 1 et le calculateur 4 étant reliés par des moyens de transmission des mesures de la profondeur et de l'étendue des points d'usure du tube, ledit moyen coopérant avec une interface de liaison 3.

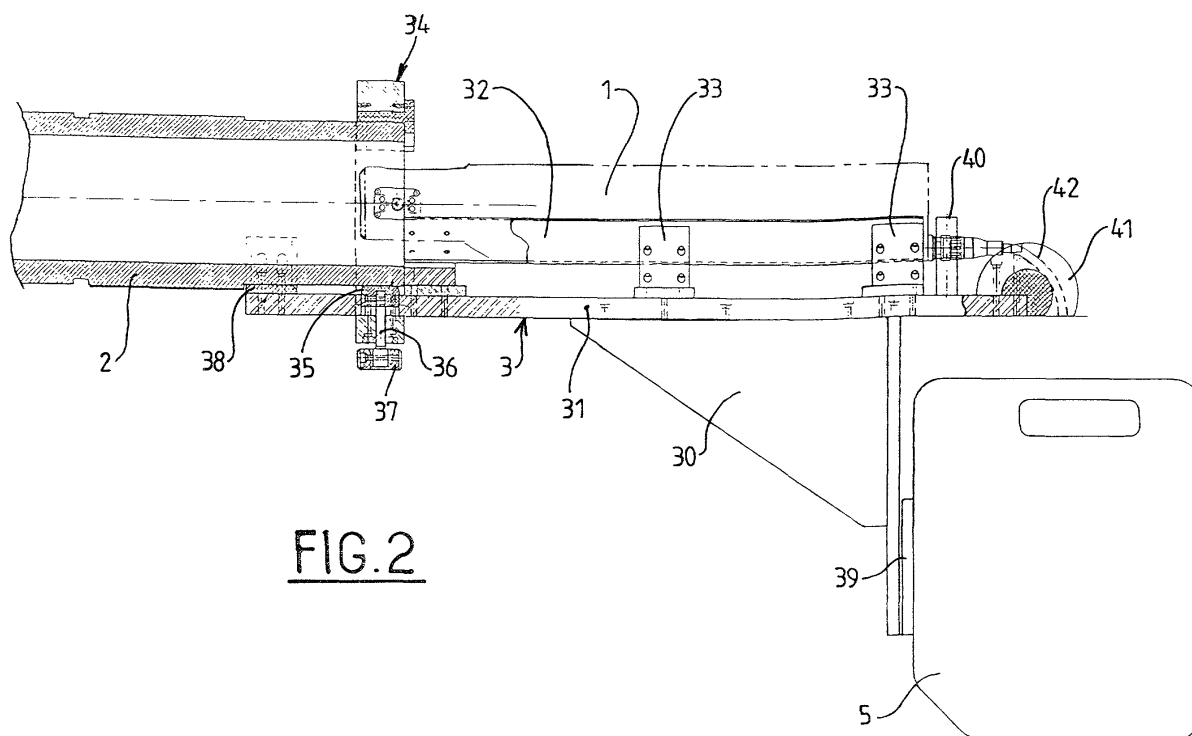


FIG. 2

EP 1 291 599 A2

Description

[0001] Le secteur technique de la présente invention est celui des dispositifs et procédés de mesure de l'usure de la paroi interne d'un tube, par exemple un tube d'arme.

[0002] Actuellement, on examine l'usure d'un tube de manière visuelle par un opérateur qui détermine selon son expérience personnelle la durée d'utilisation probable de ce tube. On connaît peu de dispositifs permettant un examen rigoureux de l'usure d'un tube soumis à des dégradations au niveau de sa paroi interne et en particulier on ne sait pas mesurer une dégradation locale d'un tube et surtout déterminer avec certitude la durée d'utilisation dans le futur de ce tube. Ce problème s'avère tout à fait important lorsqu'il s'agit d'un tube d'arme car une usure importante dégrade les performances de l'arme et peut dans certains cas constituer un danger pour le personnel servant l'arme.

[0003] Le but de la présente invention est de fournir un dispositif et un procédé permettant, pour un tube d'arme donné, de mesurer la profondeur et la localisation des zones usées. L'invention propose également une méthode de prédiction permettant d'estimer la durée de vie résiduelle de ce tube.

[0004] Ainsi l'invention a pour objet un dispositif de mesure de l'usure de la paroi interne d'un tube, notamment 1e tube d'une arme, caractérisé en ce qu'il comprend un outillage endoscopique d'inspection de la paroi interne du tube et un calculateur, ledit outillage comprenant un mobile d'inspection destiné à progresser dans le tube, ledit mobile étant muni d'une tête d'inspection rotative équipée d'un module laser de mesure de distance de la paroi interne, le mobile et le calculateur étant reliés par des moyens de transmission des mesures.

[0005] Avantageusement le module laser sera configuré pour effectuer des mesures de sa distance à la paroi du tube par triangulation.

[0006] Selon une autre caractéristique de l'invention, le dispositif de mesure comprendra des moyens pour déterminer la position axiale du mobile dans le tube.

[0007] Le mobile pourra comprendre des moyens d'entraînement en translation et des moyens de mesure de la position angulaire de la tête rotative.

[0008] Les moyens d'entraînement pourront comprendre un moto-réducteur entraînant des roues.

[0009] Les roues pourront présenter un profil sensiblement tronconique, une collerette crantée étant prévue au niveau de la grande base du tronc de cône.

[0010] Les moyens de mesure de la position angulaire de la tête rotative pourront être constitués par un codeur coopérant avec un moteur d'entraînement en rotation de la tête.

[0011] Le mobile pourra comprendre un moyen de contrôle de sa position par rapport à la verticale, moyen constitué par un inclinomètre.

[0012] Selon une autre caractéristique de l'invention,

le dispositif de mesure comprendra une interface reliant le mobile et le calculateur, interface comprenant un touret enrouleur d'un câble de liaison du mobile au calculateur et un codeur de mesure de la longueur du câble déroulé.

[0013] Le touret pourra comprendre un tambour muni d'une gorge hélicoïdale de réception du câble.

[0014] Le codeur pourra être entraîné par le moto-réducteur assurant la rotation du tambour.

[0015] Le dispositif de mesure selon l'invention comprendra avantageusement un moyen de fixation de l'interface permettant de positionner le mobile au niveau de l'embouchure du tube.

[0016] Cet interface pourra être constituée d'une platine de réception du mobile munie à une extrémité du moyen de fixation sur le tube et à l'autre extrémité du touret.

[0017] L'outillage endoscopique pourra avantageusement être muni également d'une caméra vidéo permettant de réaliser des vues de la paroi du tube.

[0018] Dans ce cas, l'outillage endoscopique comportera un moyen d'éclairage stroboscopique du tube.

[0019] Les directions d'observation du module laser et de la caméra vidéo pourront être orthogonales.

[0020] Le mobile pourra être muni d'un lest d'équilibrage minimisant l'effet gyroscopique induit par la rotation de la tête d'inspection.

[0021] L'invention a également pour objet un procédé de mesure de l'usure d'un tube mettant en oeuvre un tel dispositif, procédé caractérisé en ce que :

- on réalise une mesure par laser de la distance de la paroi interne du tube suivant une acquisition point par point le long d'une hélice selon un premier pas déterminé d'une extrémité à l'autre du tube,
- on associe à chaque point de mesure ses coordonnées angulaires et axiales à l'aide de codeurs,
- on corrige les données de mesure de distance pour calculer des données de profondeur des défauts de la paroi interne.

[0022] On pourra avantageusement calculer la surface et/ou le volume de chaque défaut pour au moins une profondeur donnée.

[0023] On pourra ainsi calculer la surface et/ou le volume de chaque défaut pour au moins deux profondeurs données et par exemple pour quatre profondeurs données.

[0024] On pourra avantageusement définir au moins deux zones longitudinales du tube pour lesquelles on calculera les volumes et les surfaces globaux et moyens pour au moins une profondeur donnée.

[0025] On pourra ainsi définir cinq zones longitudinales du tube.

[0026] On comparera les valeurs de surface et/ou de volumes de défauts maximums et moyens mesurés à des seuils et on en déduira la conformité du tube.

[0027] La correction des données de distance pourra

comporter au moins une étape d'élimination des informations considérées comme aberrantes car dépassant un seuil donné.

[0028] La correction des données de distance pourra comprendre une étape de détermination de l'excentricité de la mesure, étape comprenant un calcul du diamètre moyen du tube et l'application d'un algorithme de centrage radial permettant d'éliminer une composante sinusoïdale des données de distance pour chaque ligne de mesure.

[0029] On pourra restituer une visualisation en trois dimensions de la développée de la surface du tube sur laquelle apparaîtront les défauts avec leur forme et leur profondeur.

[0030] On réalisera avantageusement un enregistrement vidéo de la surface interne du tube suivant une acquisition le long d'une hélice ayant un deuxième pas déterminé et qui se déroulera d'une extrémité à l'autre du tube.

[0031] L'enregistrement vidéo pourra être réalisé image par image, et être synchronisé avec un éclairage stroboscopique, permettant d'associer à chaque image vidéo ses coordonnées angulaires et axiales mesurées à l'aide de codeurs.

[0032] L'enregistrement vidéo pourra être réalisé lors d'un trajet aller d'une embouchure du tube à l'autre et l'enregistrement laser lors du trajet retour.

[0033] L'invention vise enfin une application de ce procédé à la prédiction de la durée de vie du tube d'une arme, application qui est caractérisée en ce que :

- on établit au moins un profil de vie d'un type de tube sous la forme de courbes empiriques donnant le nombre de munitions d'un type donné qu'il est possible de tirer en fonction d'un volume donné d'usure et en fonction des types de munitions déjà tirées par ce tube,
- on associe le tube d'arme à analyser à ce profil de vie ou bien à un de ces profils de vie en fonction du nombre et du type de munitions effectivement tirées par ce tube,
- on mesure l'usure réelle du tube à examiner,
- on déduit de la valeur de cette usure mesurée et du profil de vie ainsi associé au tube le nombre de munitions d'un type donné qu'il est encore possible de tirer.

[0034] Le calculateur pourra alors incorporer une base de données comprenant au moins un profil de vie sous la forme de courbes prédictives de la durée de vie du tube pour une munition donnée et en fonction de l'usure ainsi qu'un algorithme permettant le choix d'une des courbes en fonction de données de vie qui sont constituées par les nombres de munitions de chaque type déjà tirées par le tube à analyser, données de vie qui seront introduites au moyen d'une interface de saisie.

[0035] Avantageusement, la base de données incor-

porera au moins un profil de vie associé à l'usure globale du tube et des profils de vie associés à l'usure suivant au moins deux zones longitudinales du tube.

[0036] L'algorithme de choix pourra comprendre le calcul d'un rapport R du nombre de munitions de références déjà tirées sur le nombre total des autres munitions déjà tirées.

[0037] La base de données des profils de vie pourra comprendre des courbes prédictives de la durée de vie du tube exprimée en nombre de munitions de références qu'il est possible de tirer en fonction de l'usure, le calculateur incorporant par ailleurs en mémoire au moins un coefficient de conversion multiplicatif permettant de convertir le nombre maximal de munitions de références qu'il est possible de tirer en un nombre maximal d'au moins un autre type de munition.

[0038] Un tout premier avantage de la présente invention réside dans une acquisition totalement automatique de l'état de surface d'un tube.

[0039] Un autre avantage réside dans une mesure fiable et globale de la localisation des points d'usure et surtout de leur profondeur et de leur étendue.

[0040] Un autre avantage réside dans la possibilité offerte d'utiliser les résultats des mesures pour déterminer la durée de vie d'un tube.

[0041] Un autre avantage encore de l'invention réside dans le fait que les mesures effectuées permettent d'adapter les conditions d'utilisation ultérieures d'un tube d'arme en fonction des munitions déjà tirées.

[0042] D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture du complément de description donné ci-après en relation avec des figures dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue d'ensemble du dispositif de détermination de l'usure,
- la figure 2 est une vue de face de l'interface de fixation,
- la figure 3 est une vue de dessus de cette interface,
- la figure 4 est une vue de face du mobile d'inspection,
- la figure 5 est une vue de dessus de ce mobile,
- les figures 6 et 7 sont des agrandissements partiels respectivement des figures 4 et 5 montrant la tête rotative,
- la figure 8 est une coupe selon AA de la figure 7,
- la figure 9 est une coupe axiale de la tête d'inspection,
- la figure 10 est une autre coupe de la tête d'inspection,
- la figure 11 est une vue de face en coupe du touret,
- la figure 12 est une de gauche de ce touret,
- la figure 13a schématise la structure interne du capteur laser,
- la figure 13b montre le signal de distance fourni par le capteur et les signaux obtenus après correction, et
- la figure 14 donne un exemple de réseau de cour-

bes de profil de vie pour un tube d'arme.

[0043] Sur la figure 1 qui représente une vue d'ensemble du dispositif selon l'invention, on voit un mobile d'inspection 1 positionné à l'extrémité libre d'un tube 2, par exemple le tube d'une arme à inspecter, par l'intermédiaire d'une interface de fixation 3 fixée à l'extrémité du tube pendant le temps de l'opération d'inspection. Ce mobile est conformé en un chariot formant un outillage d'endoscopie supportant des moyens d'examen laser et vidéo de la paroi du tube. Le mobile 1 présente une forme globalement cylindrique dont le diamètre externe est inférieur et voisin du diamètre interne du tube. Un calculateur 4 est relié au mobile par des moyens de transmission 125, 5 et 8 pour récupérer et traiter les mesures de profondeur et de localisation des défauts du tube 2 réalisées par le mobile d'inspection 1 qui va parcourir sa surface interne comme il sera expliqué ci-après. Ces moyens de transmission 125, 5 et 8 sont principalement constitués par des câbles et des éléments associés. L'interface de fixation 3 supporte un touret enrouleur 5 qui assure l'enroulement et le déroulement d'un câble 8 et le transfert des informations vers le calculateur 4 par l'intermédiaire du câble 125, ceci durant tous les déplacements du mobile d'inspection 1 à l'intérieur du tube. L'interface 3 est relié au tube par des moyens de fixation 6.

[0044] Sur cette figure 1, le tube est représenté en coupe partielle suivant plusieurs parties de sa longueur. On visualise ainsi sur la même figure l'embouchure du tube 2 et la chambre 7 de ce même tube. Le mobile d'inspection 1 est représenté en traits pleins positionné sur les moyens de fixation 3 et en traits pointillés introduit dans le tube.

[0045] Sur la figure 2, qui représente une vue plus détaillée de l'interface de fixation 3, on voit que celui-ci est construit autour d'une platine 31, qui montée dans le prolongement du tube 2, assure la réception du mobile d'inspection 1. Un guide d'introduction 32 est monté sur la platine 31 par l'intermédiaire de supports 33 fixés sur la platine. Le guide d'introduction 32 présente une forme semi-cylindrique sensiblement conformée à celle de la surface interne du tube 2 pour assurer le guidage du mobile d'inspection.

[0046] La platine 31 est fixée rigidement à l'extrémité du tube par un étrier de fixation 34 qui entoure l'extrémité du tube 2. Cet étrier permet de positionner la platine 3 en butée sur l'extrémité du tube 2 en empêchant le glissement le long du tube 2. A cette fin, un tampon de serrage 35 manoeuvré par un axe de serrage 36 et un bouton de serrage 37 assurent le maintien de l'ensemble par serrage sur le tube 2. Un Vé fixe 38 complète la fixation en prenant appui sur la partie inférieure extérieure du tube. Ce moyen assure une mise en place rapide du dispositif (en moins de deux minutes).

[0047] La platine 31 est munie d'une équerre 30 sur laquelle est fixée une plaque de fixation 39 du touret enrouleur 5.

[0048] La platine 31 est encore munie de deux galets 40 placés en vis-à-vis et d'une poulie 41, les galets et la poulie assurant le guidage du câble 42 du mobile 1 vers le touret 5.

[0049] Sur la vue de dessus de la platine selon la figure 3, on voit la disposition relative des éléments constitutifs de la platine. De la gauche vers la droite, on retrouve le Vé 38, l'étrier de fixation 34, le guide 32 sur lequel est positionné le mobile d'inspection 1, les galets 40, la poulie 41 et le touret 5.

[0050] Le mobile d'inspection 1 est représenté en détail sur les figures 4 et 5 et il est construit autour d'un corps 50 formé de deux demi-coquilles 51 et 52. Ce mobile est muni de roues 53 pour assurer sa progression dans le tube, par exemple huit roues. A cette fin, un moto-réducteur 54 entraîne par l'intermédiaire d'un montage par roue et vis sans fin 55 une roue dentée motrice 56. Le moto-réducteur 54 et l'ensemble roue/vis sans fin sont fixés au mobile à l'aide d'un support. La roue dentée 56 entraîne, par l'intermédiaire de l'axe de roue 57, les deux premières roues 58.

[0051] Chaque autre paire de roues est entraînée par un pignon 62. Des pignons intermédiaires 65 libres en rotation sont interposés entre chaque pignon 62 ainsi qu'entre la roue motrice 56 et le premier pignon 62. Ils assurent un entraînement en rotation synchrone et dans le même sens de toutes les roues à partir du motoréducteur 54.

[0052] Chaque ensemble de roues tourne par rapport au corps 50 grâce à une paire de roulements à billes 59 et 60. Quatre ensembles de ce type sont ainsi montés sur le mobile. Les roues 58 présentent une forme spécialement adaptée à la forme de la paroi interne cylindrique du tube 2 dans lequel le mobile va évoluer, permettant ainsi son déplacement selon une trajectoire rectiligne. Un codeur 61 entraîné par le moto-réducteur 54 permet de mesurer l'avancement du mobile d'inspection 1 dans le tube 2.

[0053] Sur les figures, on voit que le mobile est prolongé d'un côté par une tête rotative 63 et de l'autre par un connecteur 64 de liaison d'un câble 42 au calculateur 4.

[0054] Sur la figure 4, on voit que la tête 63 est constituée d'un embout 70 mobile en rotation par rapport à une partie 71 fixée rigidement au mobile d'inspection et supportant les moyens d'entraînement en rotation de l'embout 70. Le mobile 1 est muni en partie basse d'un lest 72 pour compenser l'effet gyroscopique de l'embout rotatif 70 et assurer un positionnement correct du mobile dans le tube 2 et une trajectoire la plus rectiligne possible du mobile dans le tube.

[0055] Sur la figure 6 qui représente une vue agrandie de la tête 63, on voit que l'embout rotatif 70 proprement dit supporte une caméra vidéo 73 et deux groupes de deux diodes 74 d'éclairage stroboscopique (LED) et un module laser 75. Les axes de la caméra 73 et du laser 75 sont disposés de manière orthogonale, c'est-à-dire perpendiculaire au plan de la figure pour la caméra et

dans le plan de la figure pour le laser. L'embout 70 est entraîné en rotation de manière continue sur 360° par l'intermédiaire d'un moto-réducteur 76 dont l'arbre de sortie 77 est solidaire d'une première roue dentée 78, elle-même engrenant sur une seconde roue dentée 79 solidaire d'un axe 80 lui-même solidaire de l'embout rotatif 70. L'embout mobile 70 est monté rotatif par rapport à la partie fixe 71 à l'aide de deux roulements 82 et 83 dont les bagues intérieures sont fixées à l'aide d'une entretoise 81 et d'une bride 89. L'embout mobile est donc entraîné suivant un mouvement de rotation sans fin. La caméra laser 75, la caméra vidéo 73 et les éclairages 74 sont connectés par des câbles protégés par un fourreau 84 fixe disposé à l'intérieur de l'axe 80 et fixé par une plaque 85 à la partie 71. Bien entendu, des joints d'étanchéité permettent d'isoler les pièces mécaniques entre elles. Le moto-réducteur 76 est relié à un codeur 69 pour repérer la position angulaire de la tête 63 par rapport à une référence initiale.

[0056] Sur la figure 7, qui est une vue agrandie de la partie fixe 71, on voit que les câbles arrivant par le fourreau 84 sont reliés à un connecteur 86 fixé à un support 87 solidaire de la partie 71. Bien entendu, le connecteur 86 et le connecteur 64 (fig. 4 et 5) sont reliés entre eux par un faisceau de câbles de liaison pour assurer la liaison de la tête 63 avec le calculateur 4.

[0057] Sur la figure 8, qui est une coupe AA de la figure 7, on voit que les roues 58 présentent un profil tronconique et sont munies d'une collerette crantée 88 au niveau de la grande base du tronc de cône. Cette structure particulière permet d'assurer un déplacement régulier et constant dans le tube 2 quel que soit l'état d'usure de ce dernier.

[0058] Les figures 9 et 10 représentent des vues de la structure de l'embout mobile 70 qui se présente sous la forme générale d'un cylindre constitué d'un corps de tête 90 et d'un bouchon 91 assemblés par vis. Dans cette structure sont montés à axes perpendiculaires le capteur laser 75 et un ensemble caméra vidéo 73. L'ensemble caméra est constitué d'un module caméra 92 fixé sur un support caméra 93. Un cache caméra 94, inséré dans le corps de tête 90, porte le support caméra 93 et un hublot 95 qui autorise la prise de vues.

[0059] Quatre diodes "LED" blanches 74 sont disposées concentriquement autour du hublot 95 pour permettre l'éclairage de la zone observée par le module caméra 92.

[0060] Le faisceau de câbles 96 connecté à la caméra 92 et aux LED 74 et le faisceau de câbles 97 connecté au laser 75 ressortent de la partie tournante 70 par un contact tournant 98 pour constituer un faisceau 99 qui est disposé dans le fourreau 84 (fig. 6) de la partie fixe 71. C'est ce faisceau 99 qui est relié à la partie femelle du connecteur 64, à travers le mobile 1.

[0061] Comme expliqué précédemment, le mobile 1 est relié à un calculateur 4 par l'intermédiaire des moyens de transmission 8 constitués principalement par un câble 42. Ce câble est enroulé sur un touret 5 et

la position du mobile 1 dans le tube 2 est déterminée par la mesure de la longueur de câble déroulé comme il va être expliqué ci-après. Le touret 5 comprend, comme représenté sur les figures 11 (vue de face) et 12 (vue de gauche), un cadre fixe construit par assemblage d'un flasque droit 100 et d'un flasque gauche 101 parallèles entre eux et reliés par deux axes 104 et une plaque avant 105 supportant un élément de fixation femelle 106 destiné à coopérer avec la plaque 39 pour assurer une fixation rapide du touret 5 sur l'interface de fixation 3 (fig. 2). Un des axes 104 porte un galet rotatif 103 guidant le câble s'enroulant sur le touret.

[0062] Solidaire de ce cadre fixe, est monté un support 107. Ce support est constitué de deux plaques latérales 108, d'une plaque supérieure 109 et d'une plaque de fixation 110 supportant un motoréducteur 117. Le support 107 porte une cloche 126 recevant deux roulements à billes 111 et 112 permettant la rotation d'un ensemble tournant 113. Celui-ci est construit par l'assemblage d'un tambour 114, muni d'une gorge hélicoïdale destinée à recevoir le câble 42 et assurant l'enroulement de ce dernier. Le tambour 114 est monté sur un axe 115 et porte un cache 116.

[0063] L'ensemble tournant 113 est mis en mouvement par le moto-réducteur 117 fixé sur la plaque de fixation 110 et entraînant une première poulie crantée 118. Cette dernière entraîne l'axe 115 du tambour, par le biais d'une courroie crantée 119 qui entraîne une deuxième poulie crantée 127 solidaire du tambour 114. Une poignée de rotation 120 fixée au tambour par l'intermédiaire du cache 116, permet la rotation manuelle de l'ensemble tournant 113 pour enrouler manuellement le câble 42.

[0064] Un codeur 121 est entraîné en rotation par le moto-réducteur 117, ce qui permet de connaître l'angle de rotation du tambour 114 du touret à partir d'un instant de référence et donc la longueur déroulée du câble 42 au fur et à mesure du déplacement rectiligne du mobile dans le tube. On en déduit ainsi la position du mobile d'inspection 1 le long de l'axe du tube 2.

[0065] Le câble 42 s'enroule sur le tambour 114 à l'intérieur de sa gorge hélicoïdale et traverse ensuite l'axe 115 pour rejoindre un connecteur 124 du câble 125 de liaison avec le calculateur 4, via un connecteur tournant 123.

[0066] Le fonctionnement est le suivant.

[0067] L'outillage endoscopique (interface 3 et mobile 1) est placé à l'extrémité du tube 2 à mesurer, ce dernier étant positionné à peu près à l'horizontale. Le montage est rapide en quelques secondes. Il suffit de coiffer la bouche du tube avec l'interface de fixation en position en plaçant la pelle 32 dans le prolongement du tube 2 comme représenté sur la figure 2. Le dispositif se positionne de lui-même grâce aux surfaces de butée du Vé 38 et de l'étrier 34 et il est bloqué par le bouton de serrage 37.

[0068] Le mobile 1 de mesure est déposé sur la pelle comme montré sur la figure 1 et il est relié au touret en-

rouleur 5 par son câble ombilical 42. Le touret est lui-même relié au calculateur 4 par le câble 125. Le mobile 1 est posé devant l'extrémité du tube, sur l'interface de fixation qui assure son introduction et son guidage. Il suffit de commander en synchronisme l'avancée du mobile 1 motorisé et le déroulement du câble 42 par le moto-réducteur 117. Dès la mise en marche du mobile 1, le calculateur 4 commande les mesures et/ou la prise d'image vidéo conjointement à l'éclairage stroboscopique. Sur la figure 1, on voit que le mobile 1 représenté en pointillé peut progresser jusqu'à une position limite au niveau de la chambre du tube 1, position fixée par le codeur 121 qui détermine à chaque instant la position du mobile dans le tube. Les résultats sont délivrés par le calculateur qui intègre un programme de calcul adapté.

[0069] Le procédé de mesure de l'usure du tube selon l'invention s'effectue préférentiellement en trois phases de la manière suivante :

- 1) Le mobile effectue un aller dans le tube à une vitesse de l'ordre de 5 mm/s, la tête d'inspection 63 pouvant tourner à une vitesse de 1 tour/s pour réaliser une acquisition d'images vidéo de la paroi du tube à l'aide de la caméra 73. Cette première phase dure environ 20 minutes pour un trajet d'inspection du tube de 5,7 m.
- 2) Le mobile effectue le retour à une vitesse plus lente de l'ordre de 1 mm/s de la chambre vers l'embouchure du tube, la tête d'inspection tournant à 1 tour/s pour réaliser une mesure laser de la distance de la paroi du tube relativement à l'axe du mobile, mesure destinée à déterminer en chaque point la profondeur des défauts. Cette mesure met en oeuvre un principe de triangulation qui sera décrit par la suite.
- 3) Enfin un traitement des données laser et vidéo (qui sera également décrit par la suite) permet de corriger les aberrations et défauts d'excentricité et de les localiser.

[0070] Le traitement des données de distance (laser) en fonction de la position du mobile dans le tube (codeur du touret) et de la position angulaire de la tête d'inspection (codeur motorisation tête) permet de produire une cartographie en trois dimensions (3D) des défauts de forme du tube. D'autres mesures peuvent aussi être produites : densité surfacique des défauts pour une zone précise ou globale, rayon moyen sur une génératrice.

[0071] On constitue ainsi une base de données associant les coordonnées des différents points de mesure avec la profondeur localisée en ces points. Cette base de données permet ainsi de réaliser une restitution conviviale et paramétrable des résultats fournis par le calculateur :

- visualisation 3D de la paroi du tube avec ses défauts,

- mise en oeuvre d'une échelle de couleurs représentative des profondeurs des défauts,
- possibilité de positionner une fenêtre de mesure par le calculateur et d'associer en parallèle sur un écran la vidéo et la représentation 3D du défaut mesuré,
- réalisation de tables synthétisant les résultats de mesure : densité surfacique de défauts suivant différentes zones longitudinales du tube, densité surfacique globale suivant les positions angulaires de la tête.

[0072] Le principe de triangulation laser à la base de la mesure des défauts est bien connu.

[0073] La figure 13a schématise la structure interne du capteur laser 75 ainsi que la mise en oeuvre de ce principe de triangulation pour la mesure des défauts du tube.

[0074] Le capteur 75 comprend une diode laser 66 ainsi qu'un détecteur plan à transfert de charge (CCD) 67. La direction d'émission de la diode laser est sensiblement perpendiculaire à la surface du tube 2 à mesurer (direction AH). Le plan du détecteur 67 est incliné par rapport à la surface du tube 2. ainsi le champ d'observation 68 présente un axe OH incliné, par construction du capteur 75, d'un angle α connu et fixe.

[0075] La diode laser 66 projette sur la surface du tube une tache lumineuse T ayant un diamètre d'environ 0,3 mm. Cette tache T est observée par le détecteur 67 et son image I sur le détecteur a une position qui est directement fonction de la distance D entre l'émetteur laser et la tache, donc de la distance séparant la tête laser de la surface analysée. La résolution mathématique du triangle HTO dont sont connus l'angle α , le côté OH (données de construction) et l'angle β (lié à la mesure de la position de 1) donnera la valeur de HT donc de la distance $D = AT$ (AH étant une donnée fixe de construction).

[0076] La distance D ainsi mesurée variera en fonction de la profondeur des défauts.

[0077] Cette distance varie également en fonction d'une composante d'excentricité de la tête de mesure par rapport à l'axe du tube de l'arme. La profondeur au niveau d'un point de mesure sera évaluée par élimination de la composante d'excentricité.

[0078] La figure 13b montre le signal de distance S1 fourni par le capteur 75. Ce signal a globalement la forme d'une sinusoïde par rapport à laquelle des variations mesurées correspondent aux variations de distance dues à l'état de la surface du tube.

[0079] La correction de l'excentricité pour une ligne de balayage (rotation de 360° de la tête de mesure) se fait de la manière suivante. On recherche le point le plus haut de la courbe de mesure S1 pour une rotation de 360° de la tête de mesure; on note son amplitude et sa localisation angulaire ; on en déduit la sinusoïde théorique propre S2 (composante sinusoïdale du signal). On additionne au signal réel S1 mesuré un signal sinusoïdal S3 en opposition de phase à cette sinusoïde théorique

S2 et de même amplitude. Il en résulte un signal centré S4 qui donne théoriquement les variations de distance dues uniquement à l'état de surface du tube.

[0080] Le traitement des données laser comporte donc les étapes suivantes de correction des mesures et de calcul des surfaces et des volumes :

- élimination des aberrations de mesure : on calcule la différence de mesure entre deux points voisins ; si cette différence dépasse un seuil fixé, le second point prend la valeur du premier,
- calcul des coefficients d'excentricité de mesure : pour chaque ligne d'acquisition (rotation de 360°), on recherche le point le plus haut de la mesure (rayon maximal) et on note son amplitude ainsi que sa localisation angulaire. On calcule aussi la valeur moyenne de chaque ligne, c'est-à-dire le rayon moyen au niveau de cette ligne,
- calcul du diamètre moyen du tube à partir des moyennes mesurées à partir d'un échantillon correspondant à une zone médiane du tube en éliminant les 1000 premières et dernières lignes de mesure,
- on filtre le signal comme présenté précédemment pour éliminer la composante d'excentricité,
- on exclut les lignes dont le point le plus haut dépasse un seuil donné (aberrations de mesure),
- calcul des surfaces et volumes des défauts : la connaissance du profil en trois dimensions (3D) du défaut permet de déterminer par calcul mathématique le volume et la surface du défaut. Ce calcul est réalisé pour différentes profondeurs. On procède ainsi à cette détermination pour quatre profondeurs données par exemple 0,13, 1, 2 et 3 mm. Ces profondeurs sont représentatives d'une usure faible, moyenne et forte.

[0081] Concernant la prise d'images vidéo, on réalise un enregistrement image par image, synchronisé avec l'éclairage stroboscopique, ce qui permet d'associer à chaque image vidéo des coordonnées angulaires et axiales mesurées à l'aide des codeurs. L'enregistrement est effectué à raison de 24 images par seconde, soit 24 images par tour de la tête.

[0082] La corrélation des images vidéo et laser permet de mesurer et de visualiser le degré d'usure d'un tube d'arme et par conséquent de prédire sa durée de vie résiduelle. On a vu que le procédé précédemment décrit permettait de mesurer, localiser et quantifier l'usure du tube suivant différentes zones longitudinales et angulaires ainsi que suivant différentes profondeurs du tube.

[0083] L'état bon ou mauvais du tube peut alors être simplement défini à partir de seuils prédéfinis par expérience.

[0084] Le procédé de mesure selon l'invention peut également être appliqué à la prédiction de la durée de vie résiduelle d'un tube, c'est à dire à la détermination

du nombre de munitions d'un type donné que le tube d'arme étudié peut encore tirer.

[0085] Pour réaliser une telle prédiction il est tout d'abord nécessaire de constituer une base de données sur les niveaux d'usure de différents tubes en fonction des munitions qu'ils ont tirés.

[0086] On définira ainsi ce que l'on appellera des "profils de vie" des tubes qui dépendront des munitions qui ont été tirées.

[0087] Ces profils se matérialisent sous la forme de courbes (profils de vie types) donnant le nombre de coups possibles en fonction du volume des défauts mesurés traduisant un déchromage du tube.

[0088] L'application à la prédiction de la durée de vie d'un tube comportera alors les étapes suivantes :

- introduction dans le calculateur des données relatives à la vie antérieure du tube à étudier (nombre et nature des coups déjà tirés : obus flèches, obus à charge creuse, obus d'exercice...),
- classement du tube dans un des profils de vie type préétablis et mémorisés dans le calculateur.

[0089] Ce classement revient à choisir une des courbes de vie type préétablies correspondant le mieux à la vie antérieure du tube considéré. Cette courbe donne alors une relation mathématique (algorithme) permettant de relier le niveau d'usure qui sera mesuré avec un nombre de coups résiduels encore possibles pour une munition donnée.

[0090] Dans certains cas simples on pourra ne prévoir qu'une seule courbe profil de vie à laquelle le tube sera automatiquement associé.

[0091] On mesurera ensuite par le procédé selon l'invention le volume d'usure global et par zones longitudinales comme indiqué précédemment.

[0092] L'application directe de cette valeur d'usure à la courbe de vie choisie donne le nombre de coups qu'il est encore possible de tirer pour un type de munition de référence donné (munition flèche par exemple).

[0093] On mémorisera par ailleurs une table de correspondance permettant d'associer au nombre maximal de munitions de références ainsi calculé le nombre maximal de munitions d'autres types qu'il est alternativement possible de tirer.

[0094] Les munitions flèches étant les plus érosives pour un tube, si on note Nofl le nombre maxi de munitions flèches qu'il est possible de tirer et qui a été calculé, on aura :

$Nocc$ (nombre maxi d'obus à charge creuse qu'il est possible de tirer) = k Nofl, et

$Noex$ (nombre maxi d'obus d'exercice qu'il est possible de tirer) = k' Nofl.

k et k' étant des constantes mises en mémoire pour un profil de vie donné.

[0095] La mesure du volume global d'usure, corres-

pendant au volume des défauts, par le procédé selon l'invention, permettra donc de déduire facilement le nombre de coups résiduels pouvant être tirés pour chaque type de munition.

[0096] L'idée de base de cette prédiction repose sur l'association de la connaissance en nombre et en type des munitions déjà tirées par un tube avec au moins un profil de vie prédictif.

[0097] A titre d'exemple, on notera les munitions déjà tirées par le tube de la façon suivante : X le nombre de munitions d'exercice, Y le nombre de munitions à charge creuse et Z le nombre de munitions flèches.

[0098] On peut alors calculer le rapport $R = Z/(X+Y)$.

[0099] Chaque profil de vie va être défini par une courbe mathématique donnant le nombre de coups de munitions flèches (N_{OFL}) qu'il est encore possible de tirer en fonction du volume d'usure (V) qui sera mesuré.

[0100] La figure 14 donne à titre d'exemple un réseau de trois courbes profils de vie f1, f2 et f3.

[0101] La première courbe f1 correspond à un profil tel que le rapport $R \leq 5\%$ ce qui correspond à un faible nombre de tirs de munitions flèche, La deuxième courbe f2 correspond à un profil tel que R est compris entre 5 et 20%, La troisième courbe f3 correspond à un profil tel que $R \geq 20\%$ ce qui correspond à un grand nombre de tirs de munitions flèches.

[0102] Les valeurs limites de R pourront être paramétrées en fonction des natures de tubes lisse ou rayé et du nombre et de la nature des munitions possibles.

[0103] Il est possible de réaliser un jeu global de courbes pour le tube et également un jeu de courbes par zone longitudinale puisque les niveaux d'usure occasionnés par un projectile donné sont variables en fonction des zones longitudinales du tube.

[0104] Les courbes de vie sont des courbes logarithmiques décroissantes dont les coefficients dépendent de la géométrie du tube, du procédé de fabrication du tube considéré (résistance du chromage) et des caractéristiques érosives des munitions.

[0105] Il n'est pas possible de donner des courbes génériques s'appliquant à tous les tubes d'armes. Ces courbes dépendent de la structure du tube d'arme, de la nature de son revêtement interne, du procédé de fabrication du revêtement, des caractéristiques érosives des munitions utilisées.

[0106] Les courbes doivent donc être établies de façon empirique pour un type d'arme donné et ses munitions associées par la mesure sur le terrain de l'usure de différents tubes ayant des profils de vie différents. Ces mesures permettent d'établir de façon empirique une relation mathématique entre le niveau d'usure mesuré et le nombre de munitions déjà tirées d'une nature donnée. La fiabilité des courbes mises au point dépendra bien entendu du nombre de tubes qui pourront être analysés et elle s'accroîtra au fil du temps par la mise à jour des tables empiriques associant les profils de vie et le niveau d'usure.

[0107] La clé de prédiction ainsi établie, on mémori-

sera dans le calculateur les différentes courbes donnant les différents profils de vie possibles (f1, f2, f3) ainsi que l'algorithme permettant d'associer automatiquement une de ces courbes théoriques à un profil de vie donné.

[0108] Il suffit alors de prévoir une interface permettant la saisie des valeurs de X, Y et Z (nombres de coups déjà tirés par le tube pour chaque type de munitions). L'algorithme associera automatiquement à ces valeurs la courbe de vie la plus appropriée.

[0109] Une fois la mesure de l'usure du tube réalisée, la courbe de vie précédemment choisie (par exemple f1 sur la figure 14) permettra d'associer automatiquement au volume d'usure mesuré (V1) le nombre de coups N1 de munitions flèches qu'il est encore possible de tirer avec ce tube.

[0110] Les tables de conversion précédemment citées donneront en parallèle le nombre maximal de coups des autres types de munitions qu'il sera possible de tirer.

Revendications

1. Dispositif de mesure de l'usure de la paroi interne d'un tube (2), notamment le tube d'une arme, **caractérisé en ce qu'il** comprend un outillage endoscopique (1, 3, 5) d'inspection de la paroi interne du tube et un calculateur (4), ledit outillage comprenant un mobile d'inspection (1) destiné à progresser dans le tube (2), ledit mobile étant muni d'une tête d'inspection rotative (63) équipée d'un module laser (75) de mesure de distance de la paroi interne, le mobile (1) et le calculateur (4) étant reliés par des moyens de transmission (8) des mesures.
2. Dispositif de mesure selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le module laser (75) est configuré pour effectuer des mesures de sa distance à la paroi du tube (2) par triangulation.
3. Dispositif de mesure selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'il** comprend des moyens (121) pour déterminer la position axiale du mobile (1) dans le tube (2).
4. Dispositif de mesure selon la revendication 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le mobile (1) comprend des moyens d'entraînement (54) en translation et des moyens de mesure (69) de la position angulaire de la tête rotative (63).
5. Dispositif de mesure selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les moyens d'entraînement (54) comprennent un moto-réducteur entraînant des roues (58).
6. Dispositif de mesure selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** les roues (58) présentent un

profil sensiblement tronconique, une collerette crantée (88) étant prévue au niveau de la grande base du tronc de cône.

7. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, **caractérisé en ce que** les moyens de mesure de la position angulaire de la tête rotative sont constitués par un codeur (69) coopérant avec un moteur d'entraînement (76) en rotation de la tête (63). 5
8. Dispositif de mesure selon l'une des revendications 4 à 7, **caractérisé en ce que** le mobile comprend un moyen de contrôle de sa position par rapport à la verticale, moyen constitué par un inclinomètre. 10
9. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend une interface (3) reliant le mobile (1) et le calculateur (4), interface comprenant un touret enrouleur (5) d'un câble de liaison (42) du mobile au calculateur et un codeur de mesure (121) de la longueur du câble déroulé. 15
10. Dispositif de mesure selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le touret (5) comprend un tambour (114) muni d'une gorge hélicoïdale de réception du câble (42). 20
11. Dispositif de mesure selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le codeur (121) est entraîné par le moto-réducteur (117) assurant la rotation du tambour. 25
12. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend un moyen de fixation (34, 38) de l'interface (3) permettant de positionner le mobile (1) au niveau de l'embouchure du tube (2). 30
13. Dispositif de mesure selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'interface (3) est constituée d'une platine de réception (32) du mobile munie à une extrémité du moyen de fixation (34, 38) sur le tube et à l'autre extrémité du touret (5). 35
14. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'outillage endoscopique (1, 3, 5) est muni d'une caméra vidéo (73) permettant de réaliser des vues de la paroi du tube (2). 40
15. Dispositif de mesure selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** l'outillage endoscopique (1, 3, 5) comporte un moyen d'éclairage (74) stroboscopique du tube. 45
16. Dispositif de mesure selon la revendication 14 ou 50

15, **caractérisé en ce que** les directions d'observations du module laser (75) et de la caméra vidéo (73) sont orthogonales.

17. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le mobile (1) est muni d'un lest d'équilibrage (72) minimisant l'effet gyroscopique induit par la rotation de la tête d'inspection. 5
18. Procédé de mesure de l'usure d'un tube mettant en oeuvre un dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** : 10
 - on réalise une mesure par laser de la distance de la paroi interne du tube suivant une acquisition point par point le long d'une hélice selon un premier pas déterminé d'une extrémité à l'autre du tube,
 - on associe à chaque point de mesure ses coordonnées angulaires et axiales à l'aide de codeurs,
 - on corrige les données de mesure de distance pour calculer des données de profondeur des défauts de la paroi interne.
19. Procédé de mesure selon la revendication 18, **caractérisé en ce qu'on** calcule la surface et/ou le volume de chaque défaut pour au moins une profondeur donnée. 15
20. Procédé de mesure selon la revendication 19, **caractérisé en ce qu'on** calcule la surface et/ou le volume de chaque défaut pour au moins deux profondeurs données. 20
21. Procédé de mesure selon la revendication 20, **caractérisé en ce qu'on** calcule la surface et/ou le volume de chaque défaut pour quatre profondeurs données. 25
22. Procédé de mesure selon une des revendications 18 à 21, **caractérisé en ce qu'on** définit au moins deux zones longitudinales du tube pour lesquelles on calcule les volumes et les surfaces globaux et moyens pour au moins une profondeur donnée. 30
23. Procédé de mesure selon la revendication 22, **caractérisé en ce qu'on** définit cinq zones longitudinales du tube. 35
24. Procédé de mesure selon une des revendications 18 à 23, **caractérisé en ce qu'on** compare les valeurs de surface et/ou de volumes de défauts maximums et moyens mesurés à des seuils et on en déduit la conformité du tube. 40
25. Procédé de mesure selon une des revendications 45

18 à 24, **caractérisé en ce que** la correction des données de distance comporte au moins une étape d'élimination des informations considérées comme aberrantes car dépassant un seuil donné.

26. Procédé de mesure selon une des revendications 18 à 25, **caractérisé en ce que** la correction des données de distance comprend une étape de détermination de l'excentricité de la mesure, étape comprenant un calcul du diamètre moyen du tube et l'application d'un algorithme de centrage radial permettant d'éliminer une composante sinusoïdale des données de distance pour chaque ligne de mesure.

27. Procédé de mesure selon une des revendications 18 à 26, **caractérisé en ce qu'on** restitue une visualisation en trois dimensions de la développée de la surface du tube sur laquelle apparaissent les défauts avec leur forme et leur profondeur.

28. Procédé de mesure selon une des revendications 18 à 27, **caractérisé en ce qu'on** réalise un enregistrement vidéo de la surface interne du tube suivant une acquisition le long d'une hélice ayant un deuxième pas déterminé et qui se déroule d'une extrémité à l'autre du tube.

29. Procédé de mesure selon la revendication 28, caractérisé en ce l'enregistrement vidéo est réalisé image par image, et en ce qu'il est synchronisé avec un éclairage stroboscopique, permettant d'associer à chaque image vidéo ses coordonnées angulaires et axiales mesurées à l'aide de codeurs.

30. Procédé de mesure selon une des revendications 28 ou 29, caractérisé en ce l'enregistrement vidéo est réalisé lors d'un trajet aller d'une embouchure du tube à l'autre et l'enregistrement laser lors du trajet retour.

31. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications 18 à 30 à la prédiction de la durée de vie du tube d'une arme, **caractérisée en ce que** :

- on établit au moins un profil de vie d'un type de tube sous la forme de courbes empiriques donnant le nombre de munitions d'un type donné qu'il est possible de tirer en fonction d'un volume donné d'usure et en fonction des types de munitions déjà tirées par ce tube,
- on associe le tube d'arme à analyser à ce profil de vie ou bien à un de ces profils de vie en fonction du nombre et du type de munitions effectivement tirées par ce tube,
- on mesure l'usure réelle du tube à examiner,
- on déduit de la valeur de cette usure mesurée

et du profil de vie ainsi associé au tube le nombre de munitions d'un type donné qu'il est encore possible de tirer.

5 32. Application selon la revendication 31, **caractérisée en ce que** le calculateur incorpore une base de données comprenant au moins un profil de vie sous la forme de courbes prédictives de la durée de vie du tube pour une munition donnée et en fonction de l'usure ainsi qu'un algorithme permettant le choix d'une des courbes en fonction de données de vie qui sont constituées par les nombres de munitions de chaque type déjà tirées par le tube à analyser, données de vie introduites au moyen d'une interface de saisie.

33. Application selon une des revendications 31 ou 32, **caractérisée en ce que** la base de données incorpore au moins un profil de vie associé à l'usure globale du tube et des profils de vie associés à l'usure suivant au moins deux zones longitudinales du tube.

34. Application selon la revendication 32, **caractérisée en ce que** l'algorithme de choix comprend le calcul d'un rapport R du nombre de munitions de références déjà tirées sur le nombre total des autres munitions déjà tirées.

35. Application selon une des revendications 31 à 34, **caractérisée en ce que** la base de données des profils de vie comprend des courbes prédictives de la durée de vie du tube exprimée en nombre de munitions de références qu'il est possible de tirer en fonction de l'usure, le calculateur incorporant par ailleurs en mémoire au moins un coefficient de conversion multiplicatif permettant de convertir le nombre maximal de munitions de références qu'il est possible de tirer en un nombre maximal d'au moins un autre type de munition.

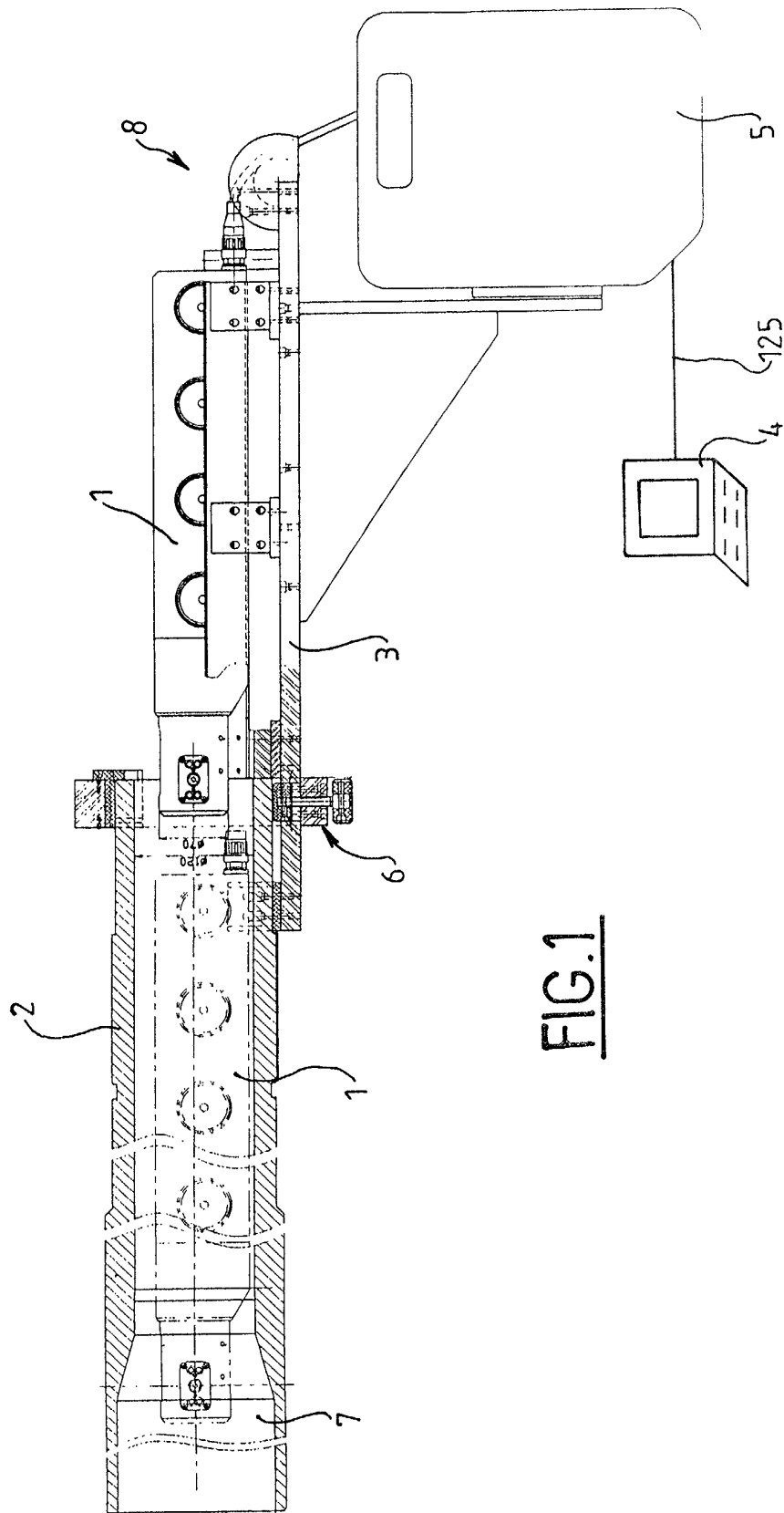
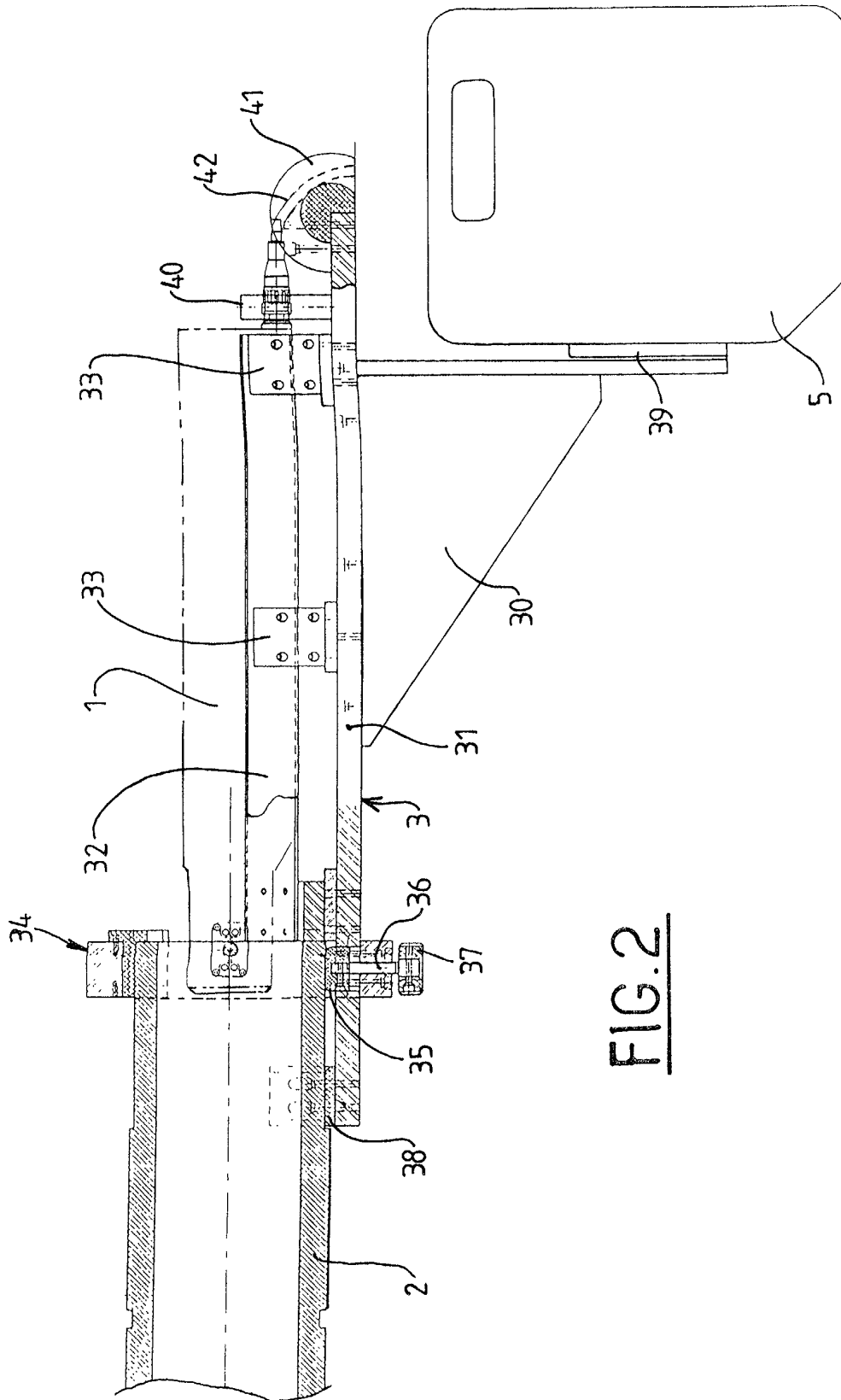


FIG. 1



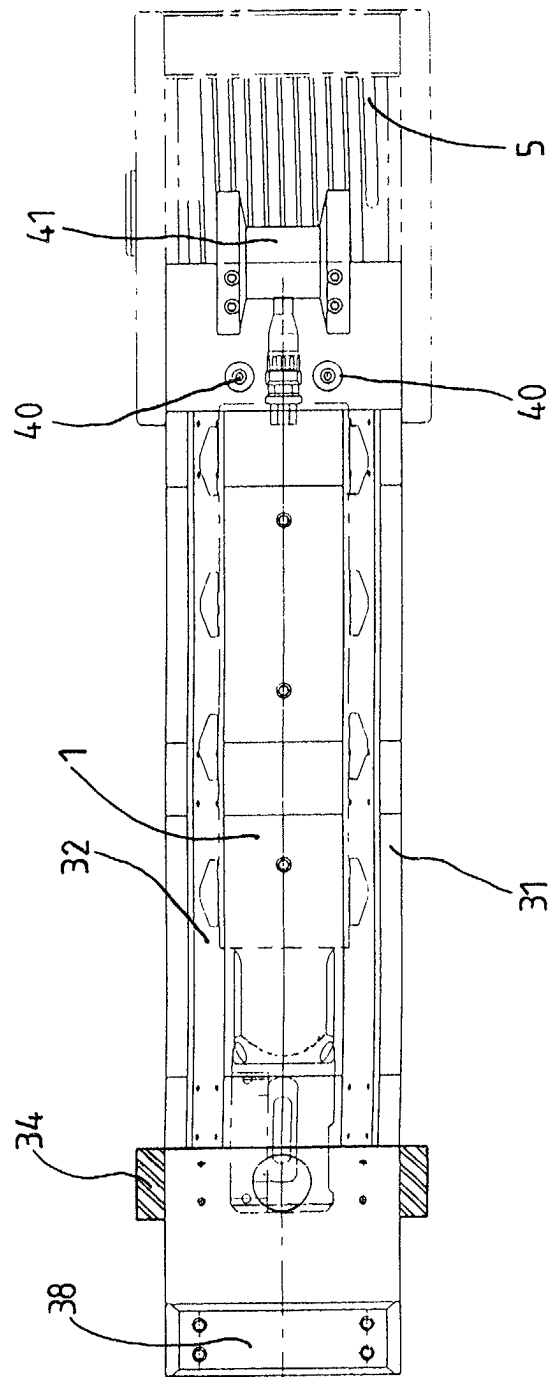
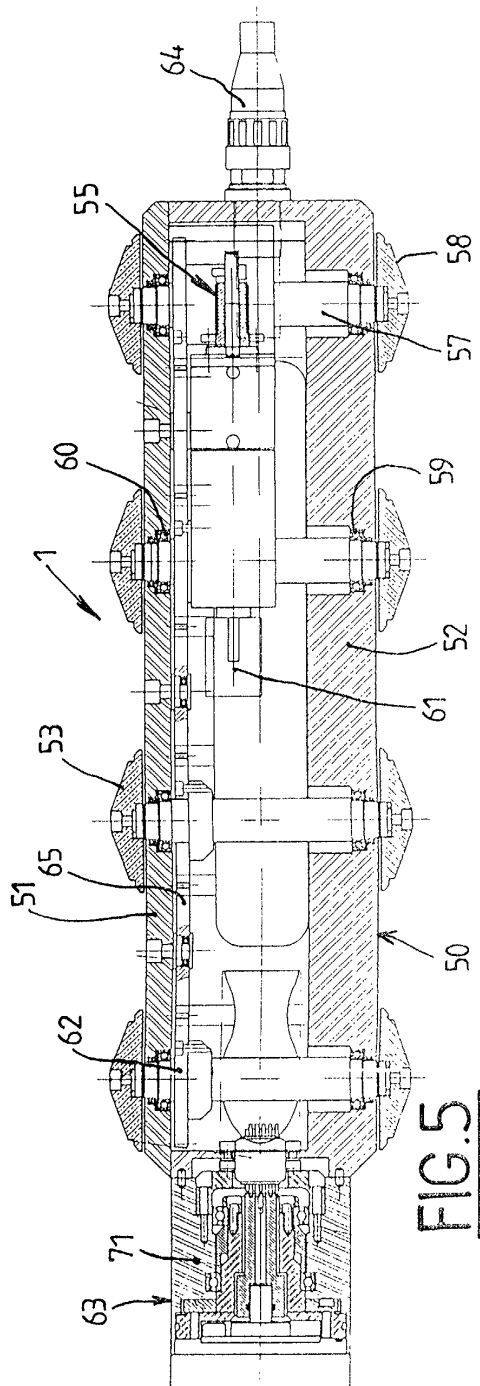
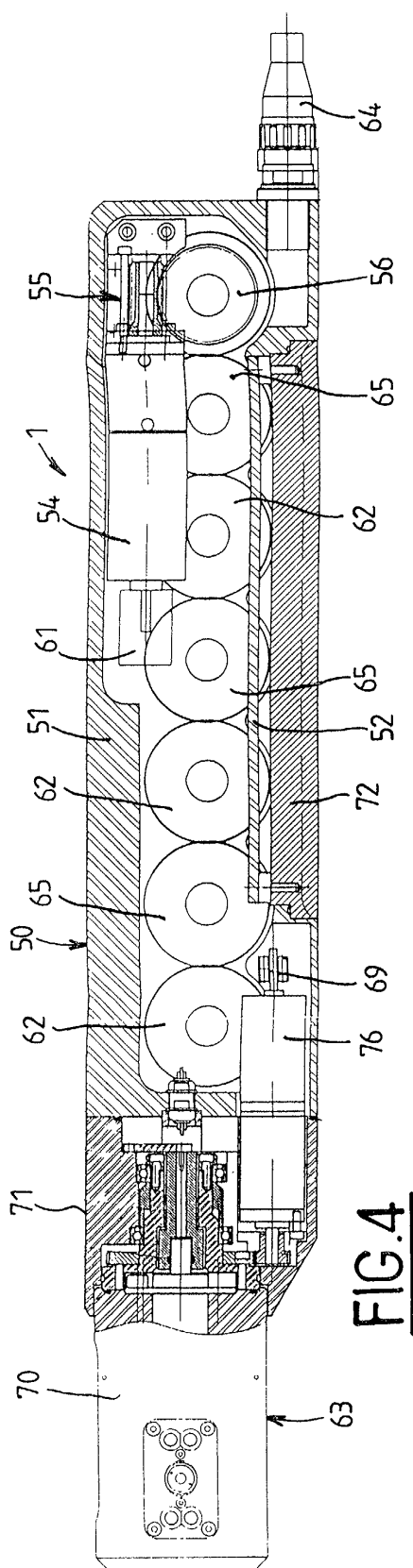


FIG. 3



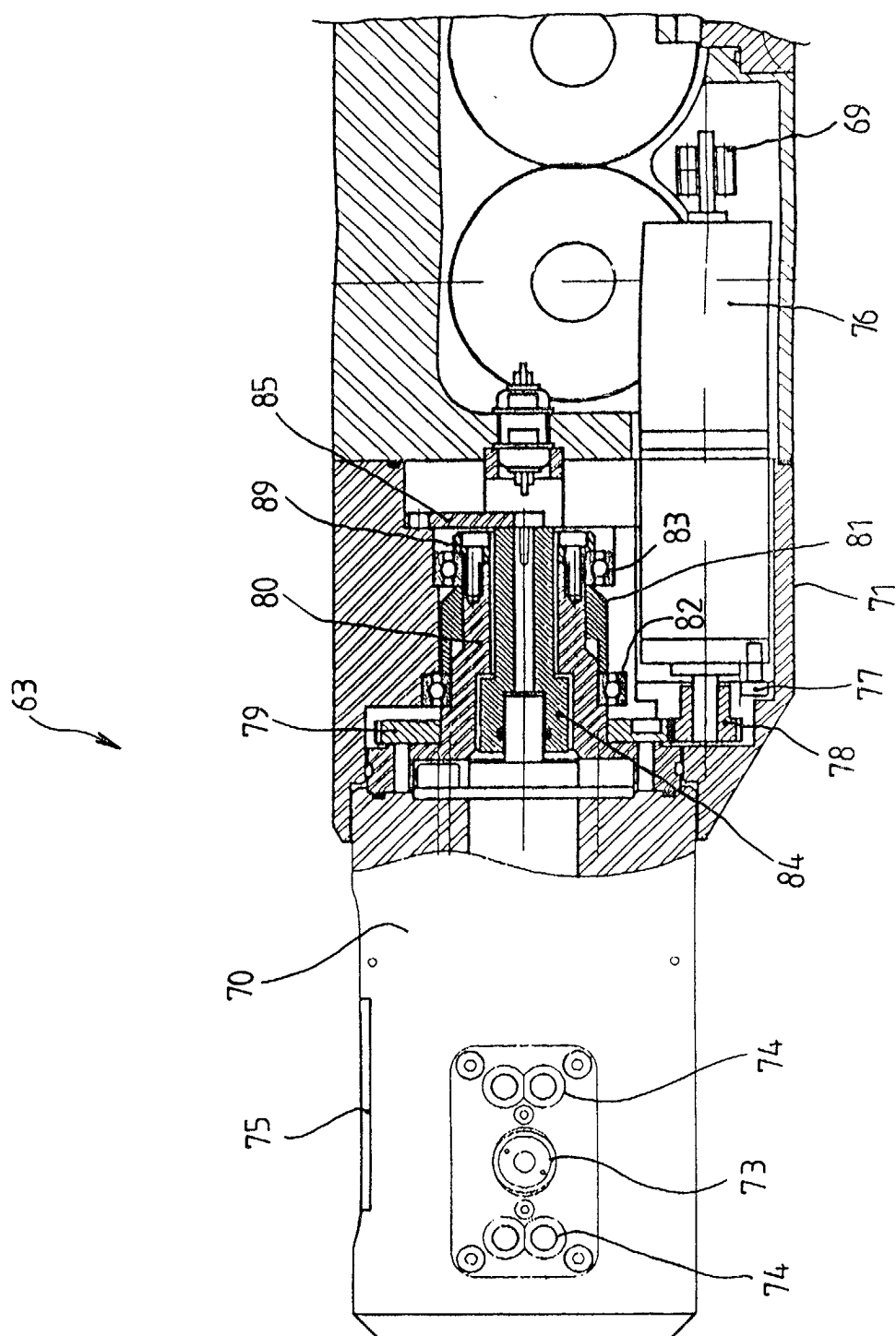
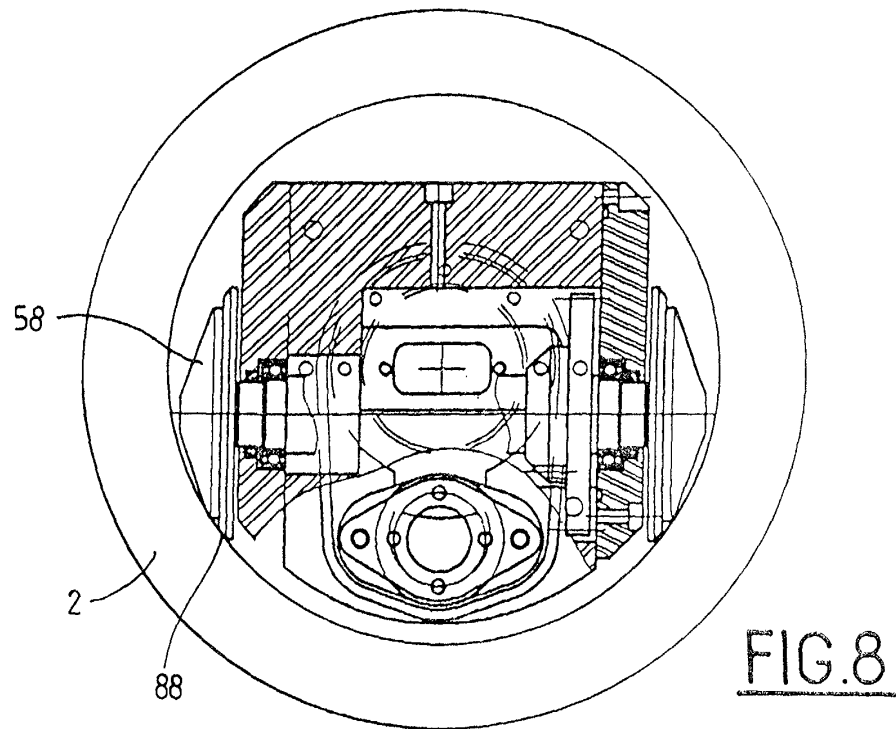
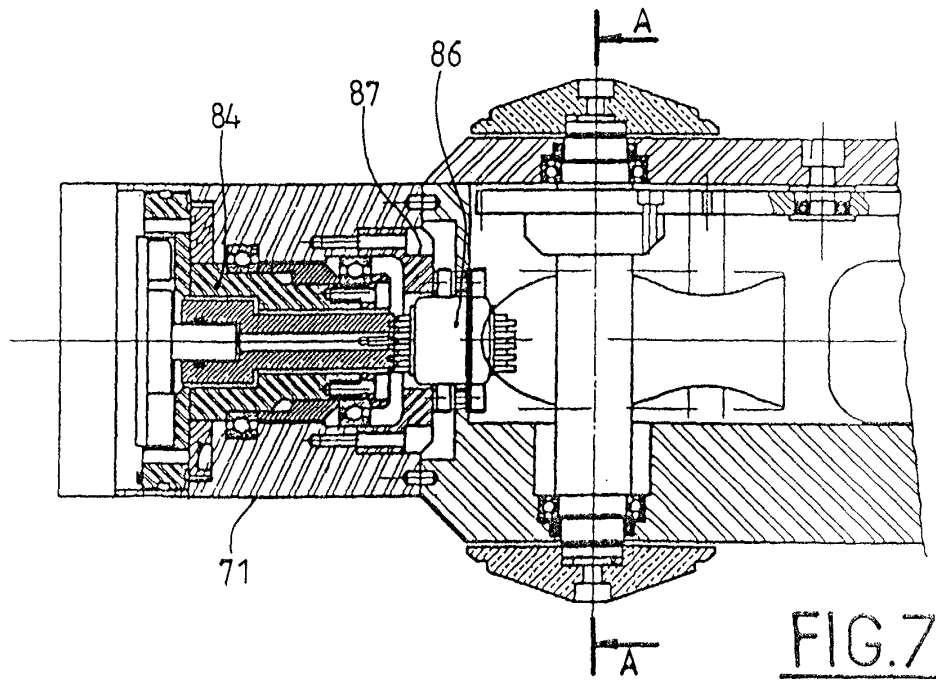
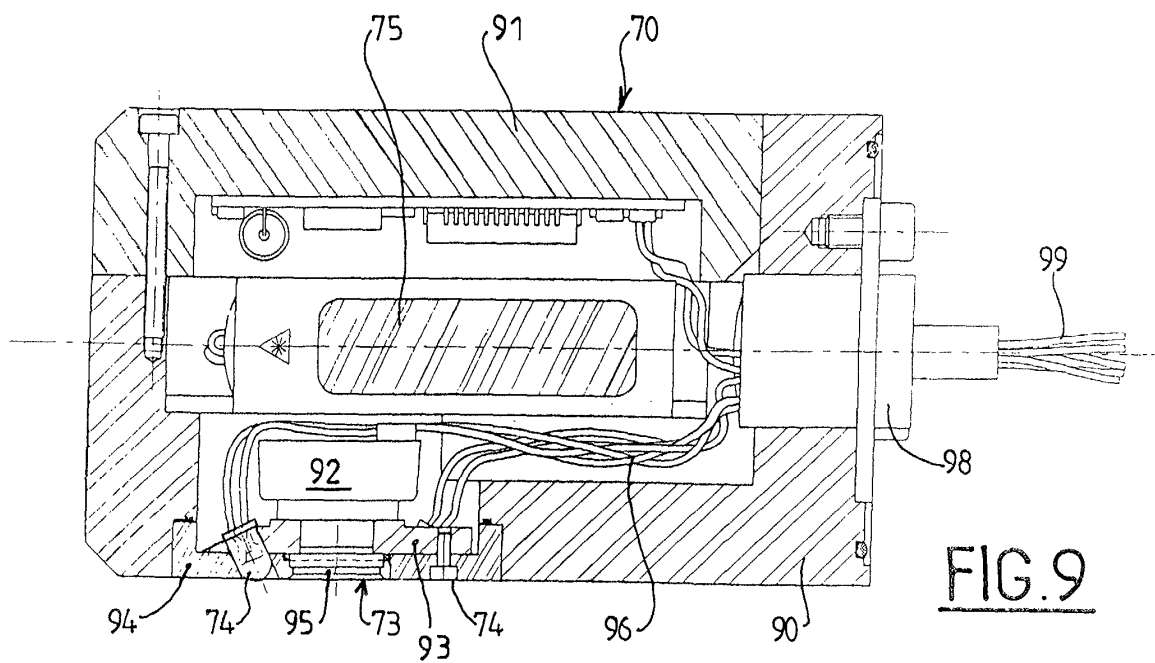
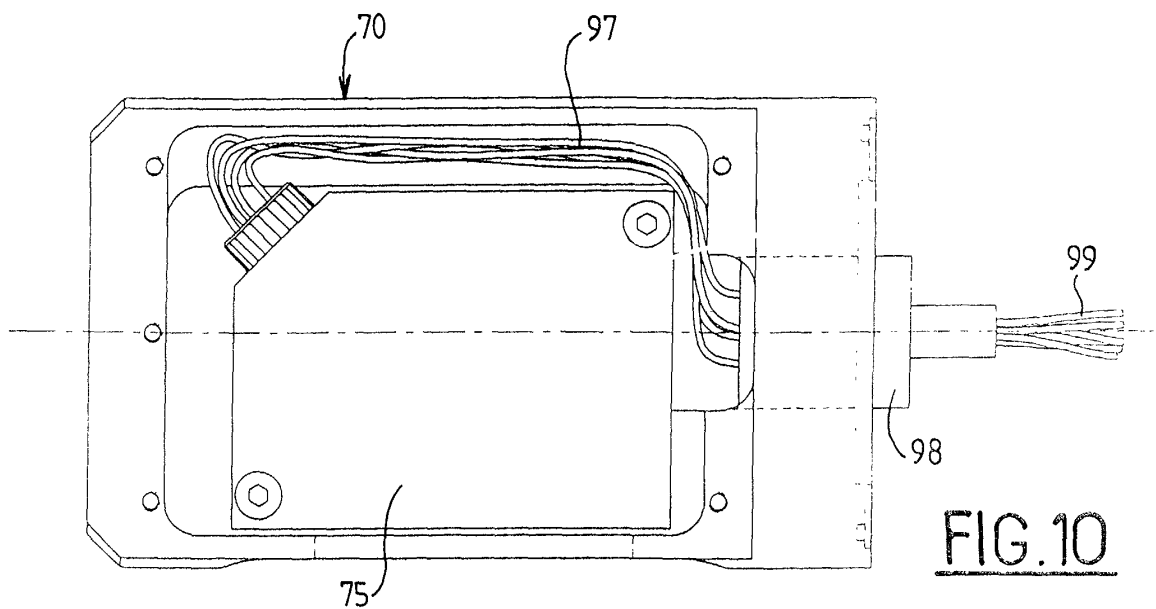


FIG. 6





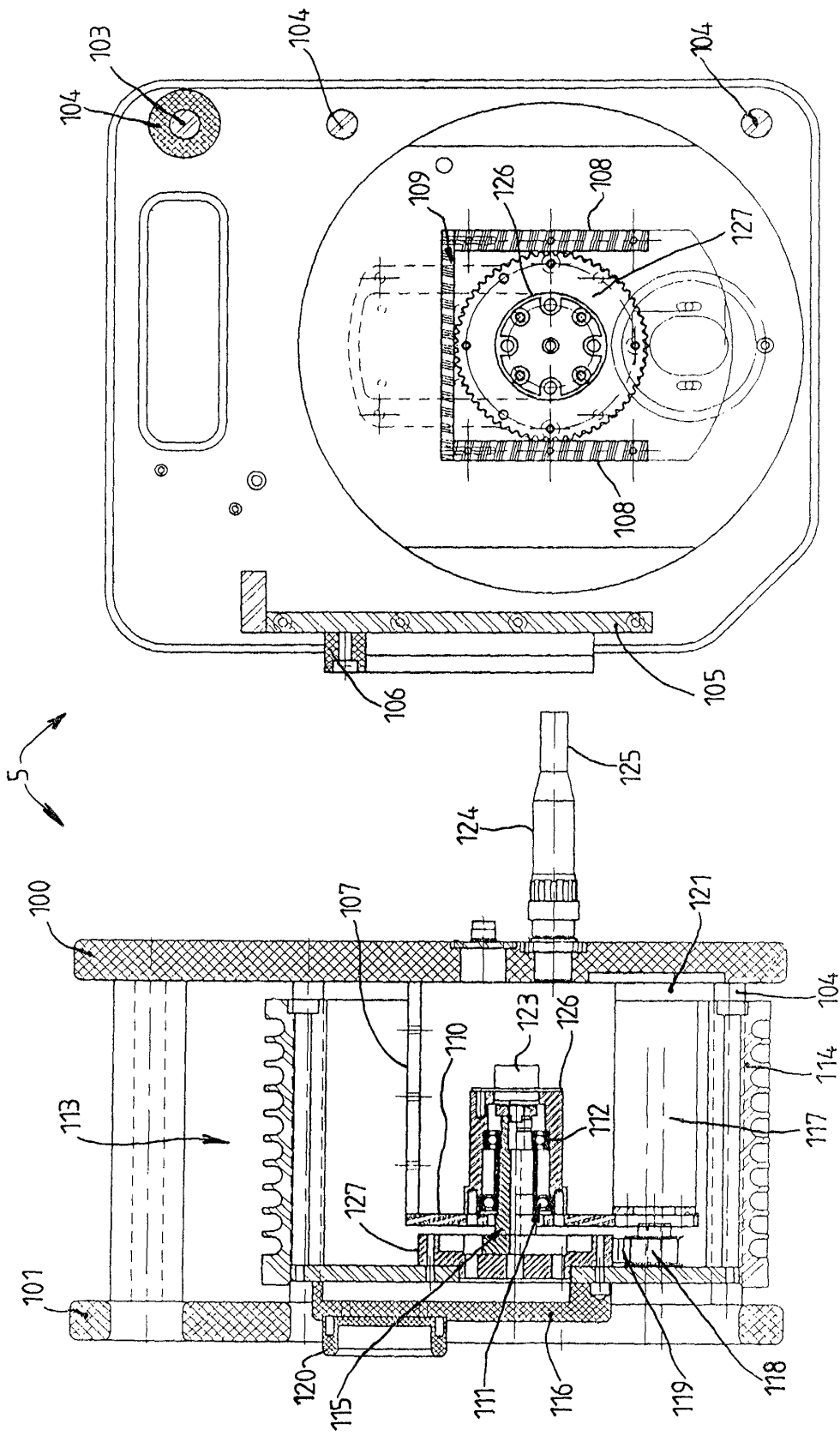


FIG.12

FIG.11

