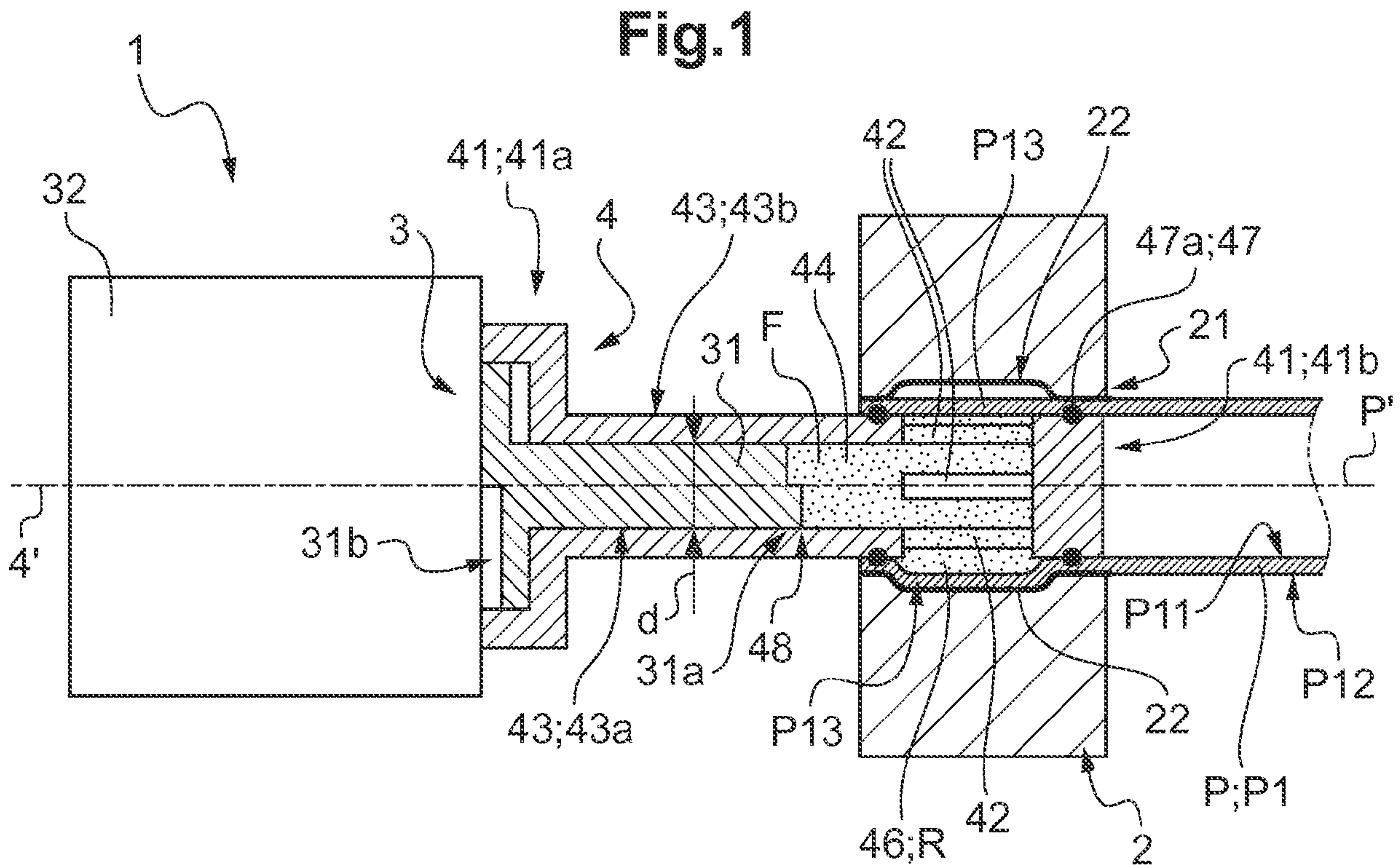




(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2014/07/29
 (87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2015/02/05
 (85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2016/01/29
 (86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** FR 2014/051964
 (87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2015/015114
 (30) **Priorité/Priority:** 2013/08/01 (FR1357632)

(51) **Cl.Int./Int.Cl. B21D 26/06** (2006.01),
B21D 26/12 (2006.01)
 (71) **Demandeur/Applicant:**
ECOLE CENTRALE DE NANTES, FR
 (72) **Inventeurs/Inventors:**
PRIEM, DIDIER, FR;
RACINEUX, GUILLAUME, FR;
MANOHARAN, PRABU, FR
 (74) **Agent:** GOWLING WLG (CANADA) LLP

(54) **Titre : MACHINE D'ELECTRO-HYDROFORMAGE POUR LA DEFORMATION PLASTIQUE D'UNE PARTIE PROJECTILE DE LA
PAROI D'UNE PIECE A FORMER**
 (54) **Title: ELECTRO-HYDRAULIC FORMING MACHINE FOR THE PLASTIC DEFORMATION OF A PROJECTILE PART OF THE
WALL OF A WORKPIECE TO BE FORMED**



(57) **Abrégé/Abstract:**

La présente invention concerne une machine d'électro-hydroformage pour la déformation plastique d'une partie projectile (P13) de la paroi (P1) d'une pièce (P) à former, de préférence une pièce tubulaire cylindrique, par un fluide de formage (F). La machine

(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):

d'électro-hydroformage (1) comprend un outil (4) pour l'application dudit fluide de formage (F) sur la face interne (P11) de ladite partie projectile (P13), lequel outil d'application (4) comporte : - une chambre (44) destinée à contenir ledit fluide de formage (F), coopérant avec des moyens (3) pour générer une onde de choc dans le fluide de formage (F) destiné à être contenu dans ladite chambre (44), et - au moins un orifice aval (42), destiné à déboucher en regard de ladite partie projectile (P13) de la paroi (P1) à déformer et en communication fluïdique avec ladite chambre (44), pour le passage dudit fluide de formage (F) et pour la propagation de l'onde de choc générée en direction de l'empreinte (22) d'un support cible (2).

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
5 février 2015 (05.02.2015)

WIPO | PCT

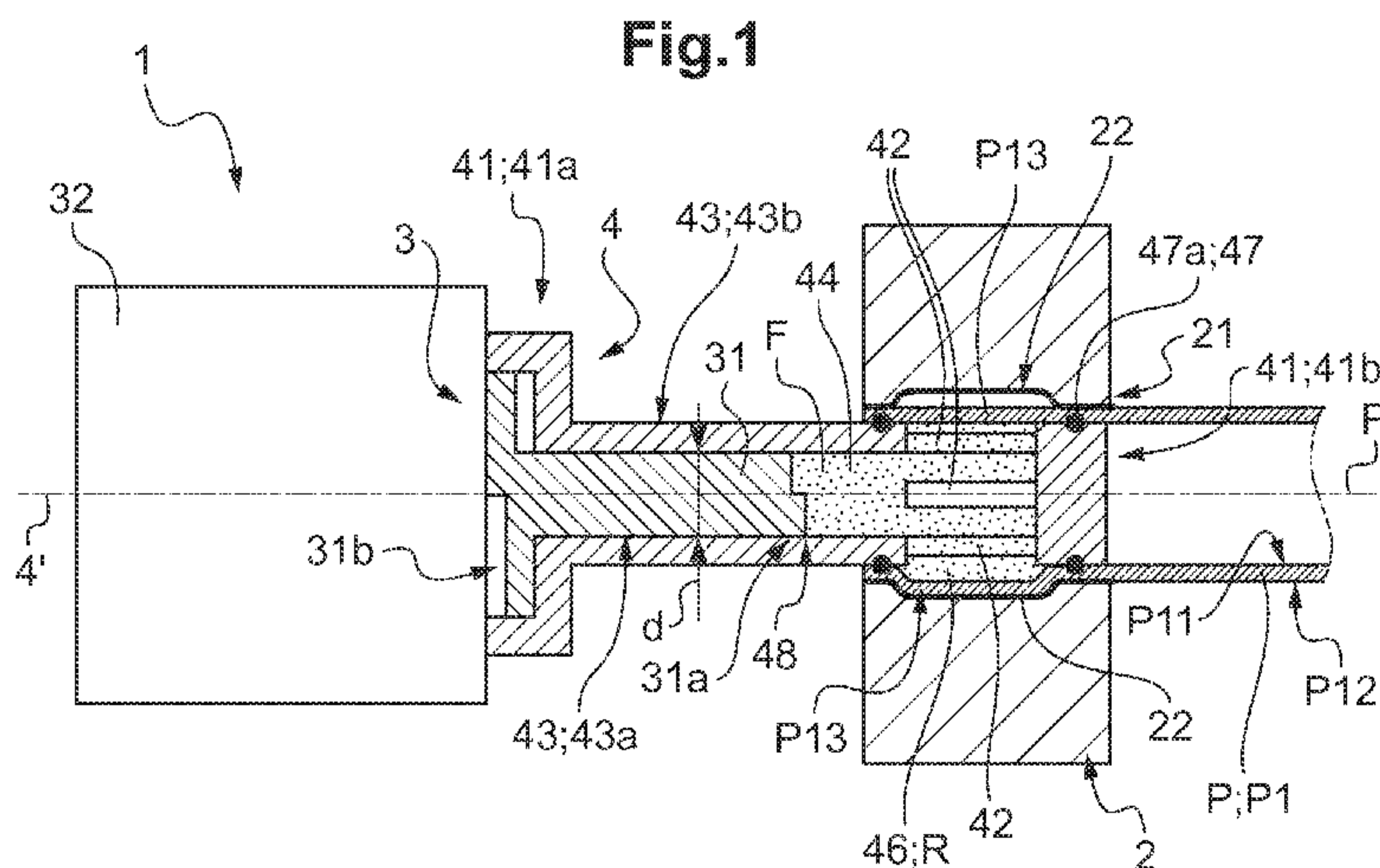
(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/015114 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
B21D 26/06 (2006.01) *B21D 26/12* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/051964
- (22) Date de dépôt international :
29 juillet 2014 (29.07.2014)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1357632 1 août 2013 (01.08.2013) FR
- (71) Déposant : ECOLE CENTRALE DE NANTES
[FR/FR]; 1, rue de la Noë, F-44300 Nantes (FR).
- (72) Inventeurs : PRIEM, Didier; 2, rue du Hameau, F-44240 la Chapelle sur Erdre (FR). RACINEUX, Guillaume; 8 Brairon, F-44690 Chateau Thebaud (FR). MANOHARAN, Prabu; A 202, 16, rue des Saumonières, F-44300 Nantes (FR).
- (74) Mandataires : ORSINI, Fabienne et al.; Cabinet Harle et Phelip, 14-16 rue Ballu, F-75009 Paris (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : ELECTRO-HYDRAULIC FORMING MACHINE FOR THE PLASTIC DEFORMATION OF A PROJECTILE PART OF THE WALL OF A WORKPIECE TO BE FORMED

(54) Titre : MACHINE D'ÉLECTRO-HYDROFORMAGE POUR LA DÉFORMATION PLASTIQUE D'UNE PARTIE PROJEC-TILE DE LA PAROI D'UNE PIÈCE À FORMER



(57) Abstract : The present invention concerns an electro-hydraulic forming machine for the plastic deformation of a projectile part (P13) of the wall (P1) of a workpiece (P) to be formed, preferably a cylindrical tubular workpiece, by means of a forming fluid (F). The electro-hydraulic forming machine (1) comprises a tool (4) for applying said forming fluid (F) on the inner face (P11) of said projectile part (P13), said application tool (4) comprising: - a chamber (44) intended to contain said forming fluid (F), cooperating with means (3) for generating a shock wave in the forming fluid (F) intended to be contained in said chamber (44), and - at least one downstream port (42), intended to open opposite said projectile part (P13) of the wall (P1) to be deformed and in fluid communication with said chamber (44), in order to allow the passage of said forming fluid (F) and for propagating the generated shock wave towards the footprint (22) of a target support (2).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2015/015114 A1 

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

La présente invention concerne une machine d'électro-hydroformage pour la déformation plastique d'une partie projectile (P13) de la paroi (P1) d'une pièce (P) à former, de préférence une pièce tubulaire cylindrique, par un fluide de formage (F). La machine d'électro-hydroformage (1) comprend un outil (4) pour l'application dudit fluide de formage (F) sur la face interne (P11) de ladite partie projectile (P13), lequel outil d'application (4) comporte : - une chambre (44) destinée à contenir ledit fluide de formage (F), coopérant avec des moyens (3) pour générer une onde de choc dans le fluide de formage (F) destiné à être contenu dans ladite chambre (44), et - au moins un orifice aval (42), destiné à déboucher en regard de ladite partie projectile (P13) de la paroi (P1) à déformer et en communication fluïdique avec ladite chambre (44), pour le passage dudit fluide de formage (F) et pour la propagation de l'onde de choc générée en direction de l'empreinte (22) d'un support cible (2).

MACHINE D'ELECTRO-HYDROFORMAGE POUR LA DEFORMATION PLASTIQUE
D'UNE PARTIE PROJECTILE DE LA PAROI D'UNE PIECE A FORMER

DOMAINE TECHNIQUE AUQUEL SE RAPPORTE L'INVENTION

5 La présente invention concerne les machines et les procédés pour la déformation plastique, avantageusement à grande vitesse et à haute pression, de la paroi d'une pièce par une technique d'électro-hydroformage.

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE

10 Certains matériaux présentent une ductilité limitée ; c'est notamment le cas de métaux tels que les alliages de titane ou les aciers à haute limite d'élasticité.

Dans ce cadre, la mise en forme de certaines pièces, notamment des pièces tubulaires, peut se faire par des machines d'hydroformage, comme décrit dans les documents US-6 305 204 ou US-4 557 128. Dans ces machines, le liquide sous
15 pression transite jusqu'à la chambre de formage par un canal de petit diamètre ménagé dans un outil cylindrique pénétrant au sein du tube à déformer.

Ces techniques d'hydroformage assurent une déformation progressive de la matière grâce à l'envoi de liquide sous pression obtenu par des moyens spécifiques.

20 Mais la déformation de la matière obtenue par de telles techniques d'hydroformage génère un retour élastique en fin de procédure, qui peut s'avérer limitatif en termes d'applications.

Dans un domaine très différent, nécessitant des compétences bien particulières, la mise en forme de ces matériaux peut être réalisée par des techniques de formage à haute vitesse et à haute pression, en particulier des techniques de formage
25 électrohydraulique, ou d'électro-hydroformage, comme décrit par exemple dans le document EP-1 488 868.

Ces techniques d'électro-hydroformage sont basées sur le mouvement rapide d'un fluide de formage appliqué sur l'une des faces de la paroi de la pièce à déformer, accompagné d'une augmentation rapide de la pression de ce fluide (contrairement à la
30 montée en pression progressive des machines d'hydroformage).

Le fluide de formage est alors utilisé comme un moyen d'emboutissage de la pièce à déformer.

L'énergie nécessaire pour l'action de formage se présente sous la forme d'une onde de choc au sein du fluide de formage.

35 Cependant, les machines d'électro-hydroformage actuelles ne sont pas totalement adaptées pour appliquer certaines déformations à des structures particulières de pièces, notamment un dudgeonnage à des pièces tubulaires cylindriques de petits diamètres.

OBJET DE L'INVENTION

Dans ce contexte, la présente invention propose une nouvelle machine d'électro-hydroformage, et un nouveau procédé, aptes à générer une déformation dynamique d'une partie projectile de la paroi d'une pièce à former, et particulièrement adaptés à la mise en forme de pièces tubulaires cylindriques de petits diamètres.

La machine d'électro-hydroformage correspondante est donc destinée à permettre la déformation plastique d'une partie projectile de la paroi d'une pièce à former, de préférence une pièce tubulaire cylindrique, par un fluide de formage destiné à être appliqué sur une face interne de cette partie projectile.

Cette machine d'électro-hydroformage comporte :

- un support cible pour la réception de ladite partie projectile de la pièce à déformer, lequel support cible comporte une empreinte destinée à venir en regard d'une face externe de ladite partie projectile, ainsi que

- des moyens pour générer une onde de choc au sein dudit fluide de formage, avantageusement pour atteindre une grande vitesse et une haute pression, adaptées à provoquer la déformation plastique recherchée de ladite partie projectile ;

et conformément à l'invention, ladite machine comprend un outil pour l'application dudit fluide de formage sur la face interne de ladite partie projectile, lequel outil d'application comporte :

- une chambre destinée à contenir ledit fluide de formage, coopérant avec les moyens pour générer l'onde de choc, et

- au moins un orifice aval, destiné à déboucher en regard de ladite partie projectile de la paroi à déformer et en communication fluide avec ladite chambre, pour le passage dudit fluide de formage et pour la propagation de l'onde de choc en direction de l'empreinte dudit support cible.

Selon une forme de réalisation particulièrement intéressante, l'outil d'application se présente sous la forme d'un organe tubulaire cylindrique qui délimite la chambre destinée à être remplie avec le fluide de formage, et qui comporte deux extrémités : - une extrémité amont coopérant avec les moyens pour générer l'onde de choc sur ledit fluide de formage, et - une extrémité aval munie de plusieurs orifices aval pour le passage dudit fluide de formage et pour la propagation de l'onde de choc générée.

Dans ce cas, de préférence, les orifices aval de l'outil d'application débouchent radialement au travers dudit outil d'application et sont répartis sur la circonférence de son extrémité aval.

L'extrémité aval de l'outil d'application comporte de préférence encore une surface extérieure cylindrique dans laquelle est ménagée une gorge au sein de laquelle débouchent les orifices aval, ladite gorge étant destinée à former une réserve de liquide en regard de l'empreinte du support cible.

Selon une caractéristique avantageuse, l'outil d'application comporte, au niveau du ou des orifices aval, des moyens pour assurer une étanchéité au fluide de formage, afin de limiter la zone de travail de ce dernier ; dans ce cas, les moyens d'étanchéité comprennent de préférence : - des joints ménagés de part et d'autre du ou des orifices aval, adaptés à venir s'intercaler entre ledit outil d'application et la pièce à déformer, ou
5 - une enveloppe souple recouvrant de manière hermétique au fluide le ou les orifices aval de l'outil d'application ;

Selon une forme de réalisation particulièrement intéressante, les moyens pour générer l'onde de choc comportent un piston adapté à assurer un effet multiplicateur de pression, lequel piston est mobile en translation au travers d'un orifice amont de l'outil d'application, en communication fluïdique avec la chambre dudit outil, lequel piston comporte deux extrémités : - une extrémité aval s'étendant au sein de la chambre de l'outil d'application, et - une extrémité amont coopérant avec des moyens pour sa manœuvre en translation à grande vitesse ; dans ce cas, les moyens de manœuvre du piston comprennent avantageusement une enceinte amont dans laquelle s'étend l'extrémité amont dudit piston, laquelle enceinte est adaptée à recevoir un fluide conducteur et est munie de moyens pour générer une décharge électrique dans ledit fluide conducteur apte à générer une onde de choc au sein de ce dernier ; de manière alternative, les moyens de manœuvre du piston comprennent une enceinte magnétique au niveau de laquelle s'étend l'extrémité amont dudit piston qui est munie d'une pièce conductrice de l'électricité apte à subir des forces magnétiques destinées à assurer l'accélération à grande vitesse dudit piston ;
10
15
20

Toujours selon une autre particularité, la chambre de l'outil d'application est raccordée encore - à des moyens pour générer un vide d'air au sein de ladite chambre et - à des moyens pour le remplissage de ladite chambre avec ledit fluide de formage ;
25

Le support cible peut être une matrice ou une pièce destinée à être sertie sur la pièce à déformer.

La présente invention concerne également l'outil pour l'application d'une onde de choc au moyen d'un fluide de formage, pour une machine d'électro-hydroformage telle que définie ci-dessus.
30

La présente invention concerne encore un procédé pour la déformation plastique d'une partie projectile de la paroi d'une pièce au moyen d'une machine d'électro-hydroformage telle que définie ci-dessus, par exemple une pièce tubulaire pour son dudgeonnage ou pour sa mise en forme.

Ce procédé comprend les étapes suivantes :

- une étape de positionnement de ladite pièce à déformer dans le support cible, par exemple une matrice contenant éventuellement une pièce à sertir par dudgeonnage,
35

- une étape de positionnement de l'outil d'application de sorte à positionner son ou ses orifices aval en regard de la partie projectile de la paroi à déformer et de l'empreinte du support cible,

5 - une étape de génération de l'onde de choc dans le fluide de formage présent au sein de la chambre de l'outil d'application, et

- une étape d'extraction de la pièce déformée plastiquement, par rapport audit outil d'application.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

10 L'invention sera encore illustrée, sans être aucunement limitée, par la description suivante de différents modes de réalisation représentés sur les dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique, en coupe longitudinale, de la machine d'électro-hydroformage selon l'invention, avant (moitié supérieure) et après (moitié inférieure) déformation plastique de la partie projectile de la pièce à déformer ;

15 - la figure 2 est une vue schématique, en coupe longitudinale, d'une forme de réalisation particulière de la machine d'électro-hydroformage selon l'invention, dont les moyens de manœuvre du piston sont du type « hydroélectrique » ;

20 - la figure 3 est une vue partielle et agrandie de la machine illustrée sur la figure 2, montrant son outil pour l'application du fluide de formage sur la face interne de la partie projectile de la paroi à déformer ;

- la figure 4 illustre une première mise en œuvre de l'outil d'application selon la figure 3, pour l'expansion de la partie projectile d'une pièce tubulaire cylindrique dans un support cible du type matrice, cela avant (moitié supérieure) et après (moitié inférieure) déformation plastique de ladite partie projectile ;

25 - la figure 5 illustre une seconde mise en œuvre de l'outil d'application selon la figure 3, pour l'expansion de la partie projectile de la pièce tubulaire cylindrique dans un support cible du type pièce à sertir par dudgeonnage, cela avant (moitié supérieure) et après (moitié inférieure) déformation plastique de ladite partie projectile ;

30 - la figure 6 illustre encore l'outil d'application selon la figure 3, dans laquelle les moyens d'étanchéité sont remplacés par une enveloppe souple rapportée ;

- la figure 7 est une vue schématique, en coupe, d'une autre forme de réalisation particulière de la machine d'électro-hydroformage selon l'invention, dont les moyens de manœuvre du piston sont du type « magnétique ».

35 La machine d'électro-hydroformage 1, représentée schématiquement et en coupe sur la figure 1, est destinée à permettre la déformation plastique d'une pièce P par un fluide de formage F.

De manière générale, les termes « déformation », « formage », « mise en forme » sont employés de manière équivalente.

Cette machine d'électro-hydroformage 1 permet la mise en œuvre de procédés de formage à grandes vitesses, aptes à repousser les limites de formabilité des matériaux et à limiter leur retour élastique.

5 La pièce P à déformer est réalisée dans un matériau choisi parmi les matériaux métalliques (tels que les alliages de titane, les aciers à haute limite d'élasticité) ou non métalliques, ductiles ou non ductiles.

Cette pièce P consiste, avantageusement, en une pièce tubulaire cylindrique, d'axe longitudinal P', qui comporte une paroi P1 présentant une face interne P11 et une face externe P12.

10 Une partie « projectile » P13 de la paroi P1 de cette pièce P est destinée à subir une « déformation plastique », c'est-à-dire une déformation permanente obtenue par déplacement de matière, en l'occurrence du type emboutissage.

15 Cette déformation plastique consiste avantageusement en une expansion radiale, dite encore « dudgeonnage », de la partie projectile P13 de la pièce P à déformer.

Le fluide de formage E est pour cela destiné à être appliqué, à grande vitesse et à haute pression, sur la face interne P11 de la partie projectile P13 de paroi P1 à déformer.

20 On obtient ainsi un placage, à grande vitesse, de la partie projectile P13 de cette paroi P1 contre l'empreinte d'un support cible à l'aide d'une haute pression hydraulique.

Le fluide de formage E consiste avantageusement en un liquide, et de préférence de l'eau.

25 La « grande vitesse » envisagée est, sans être aucunement limitative, comprise entre 100 et 150 m/seconde ; la « haute pression » indiquée est avantageusement, là encore sans être aucunement limitative, de plusieurs centaines de bars, voire dépasse le millier de bars.

A cet effet, selon l'invention, la machine d'électro-hydroformage 1 comporte principalement :

30 - un support cible 2, pour la réception de la partie projectile P13 de la paroi P1 à déformer,

- des moyens 3 pour générer une onde de choc au sein du fluide de formage E, cette onde de choc étant adaptée à provoquer la déformation plastique recherchée de la partie projectile P13 de la paroi P1 à déformer, et

35 - un outil 4, encore appelé « nez », pour l'application du fluide de formage E sur la face interne P11 de la partie projectile P13 de la paroi P1 à déformer.

Tel que précisé ci-après, l'outil d'application 4 permet une application locale d'une onde de choc sur la partie projectile P13, par l'intermédiaire du fluide de formage E, avantageusement pour provoquer l'expansion radiale d'une bande annulaire constitutive de la pièce tubulaire cylindrique.

De manière générale, on entend par « face interne » de la partie projectile P13, la face contre laquelle est appliqué le fluide de formage E ; on entend par « face externe » de la partie projectile P13, la face opposée qui est destinée à venir se plaquer dans l'empreinte cible et à épouser cette dernière.

5 Le support cible 2 consiste avantageusement en une matrice, éventuellement destinée à recevoir une pièce à dudgeonner (ou pièce à sertir).

Ce support cible 2 comporte un logement cylindrique traversant 21 comportant une empreinte annulaire 22 destinée à venir en regard de la face externe P12 de la partie projectile P13 de la paroi P1 à déformer.

10 Le diamètre de ce logement cylindrique traversant 21 correspond avantageusement, au jeu près, au diamètre extérieur de la pièce P à déformer, défini par la face externe P12 de sa paroi P1.

Le profil de l'empreinte 22 est adapté à façon, notamment en fonction de la forme finale recherchée pour la partie projectile P13 de la paroi P1 à déformer.

15 L'outil d'application 4 consiste en un organe cylindrique tubulaire qui définit un axe longitudinal 4' destiné à s'étendre coaxialement, ou au moins approximativement coaxialement, par rapport à l'axe longitudinal P' de la pièce P à déformer et à l'axe longitudinal du logement cylindrique traversant 21.

Cet outil d'application 4 comporte deux extrémités 41 :

20 - une extrémité amont 41a qui coopère avec les moyens 3 pour générer l'onde de choc dans le fluide de formage E, et

- une extrémité aval 41b munie de plusieurs orifices aval 42, pour le passage du fluide de formage E et pour la propagation de l'onde de choc générée dans ce dernier.

Cet outil d'application 4 comprend encore deux surfaces cylindriques 43 :

25 - une surface intérieure cylindrique 43a, dont une partie définit une chambre 44 destinée à contenir le fluide de formage E, et

- une surface cylindrique extérieure 43b, dont une partie est destinée à venir en regard de l'empreinte 22 de la matrice 2 et de la face interne P11 de la paroi P1 à déformer.

30 Le diamètre de la surface cylindrique extérieure 43b de l'outil d'application 4 correspond avantageusement, au jeu près, au diamètre de la face interne P11 de la paroi P1 à déformer.

35 Le diamètre de la surface cylindrique extérieure 43b est par exemple compris entre quelques millimètres (par exemple 2 à 20 mm) et quelques centimètres (par exemple 2 à 5 cm).

Les orifices aval 42 de l'outil d'application 4 sont destinés à déboucher en regard de la partie projectile P13 de la paroi P1 à déformer et en regard de l'empreinte 22 de la matrice 2.

Ces orifices aval 42 sont adaptés pour permettre le passage du fluide de formage E depuis la chambre 44 précitée, notamment pour assurer la propagation optimale de l'onde de choc générée dans ce fluide de formage E en direction de l'empreinte 22 du support cible 2.

5 Pour cela, les orifices aval 42 sont débouchant, c'est-à-dire qu'ils sont, d'une part, en communication fluidique avec la chambre 44 du côté intérieur et, d'autre part, débouchant au niveau de la surface périphérique extérieure 43b de l'outil d'application 4.

10 Les orifices aval 42 sont répartis régulièrement sur la circonférence de l'outil d'application 4, et ils sont espacés d'un secteur angulaire constant.

Ces orifices aval 42 sont au moins au nombre de deux ; ils sont ici au nombre de quatre, espacés deux à deux par un secteur angulaire de l'ordre de 90°.

Chaque orifice aval 42 s'étend radialement, c'est-à-dire sur un axe radial passant par l'axe 4' de l'outil d'application 4.

15 Ces orifices aval 42 ont encore chacun la forme d'une fente allongée dont l'axe longitudinal s'étend parallèlement à l'axe longitudinal 4' de l'outil d'application 4.

La longueur de ces orifices 42, selon l'axe longitudinal 4', correspond, au moins approximativement, à la largeur de la partie projectile P13 selon l'axe longitudinal P' de la paroi P1 ou à la largeur de l'empreinte 22 du support cible 2.

20 La largeur de ces mêmes orifices 42 est adaptée pour occuper une portion maximale de la circonférence de l'extrémité aval 41b de l'outil d'application 4, tout en préservant une structure apte à résister aux forces mécaniques soumises.

25 La surface extérieure 43b de l'outil d'application 4 comporte encore, du côté de son extrémité aval 41b, une gorge 46 au sein de laquelle débouchent les orifices aval 42.

Cette structure permet une répartition homogène de la pression de formage sur toute la circonférence interne de la partie projectile P13 à déformer en expansion radiale.

30 Pour cela, cette gorge 46, de forme générale annulaire, s'étend sur toute la circonférence de la surface extérieure 43b de l'outil d'application 4 et débouche vers la périphérie (à l'opposé de son axe longitudinal 4').

35 La longueur de cette gorge 46 est égale, ou au moins approximativement égale, à la longueur des orifices aval 42. La longueur de cette gorge 46, selon l'axe longitudinal 4', correspond, au moins approximativement, à la largeur de la partie projectile P13 selon l'axe longitudinal P' de la paroi P1 ou à la largeur de l'empreinte 22 du support cible 2.

Sa profondeur est de quelques dixièmes de millimètres, par exemple comprise entre 0,3 mm et 0,7 millimètres.

Cette gorge 46 est ainsi destinée à former, avec la surface intérieure P11 de la partie projectile P13 de la paroi P1 à déformer, une réserve de liquide R en regard de l'empreinte 22 de la matrice 2.

5 L'outil d'application 4 comporte encore, au niveau de ses orifices aval 42, des moyens 47 pour assurer une étanchéité au fluide de formage E au niveau de sa surface périphérique 43**b**.

Ces moyens d'étanchéité 47 participent à limiter la zone de travail de ce fluide de formage E, de part et d'autre des orifices aval 42 et de la gorge 46.

10 Ces moyens d'étanchéité 47 comprennent ici deux joints toriques 47**a** qui sont placés de part et d'autre des orifices aval 42 et de la gorge 46, autour de la surface extérieure 43**b** de l'outil d'application 4.

Ces joints 47**a** se situent ainsi, pour l'un en amont et pour l'autre en aval, par rapport à ces orifices aval 42 et à la gorge 46.

15 Ces joints 47**a** sont adaptés à venir s'intercaler entre la surface extérieure 43**b** de l'outil d'application 4 et la face interne P11 de la paroi P1 à déformer, afin de participer à définir les limites amont/aval de la réserve de liquide R.

La chambre 44 de l'outil d'application 4 s'étend sur un tronçon aval de l'outil d'application 4, du côté de son extrémité aval 41**b**.

20 Cette chambre 44 a une forme générale cylindrique, présentant un diamètre d défini par la surface intérieure 43**a** de l'outil d'application 4.

Par exemple, cette chambre 44 a un diamètre compris entre quelques millimètres et quelques centimètres et un volume suffisamment important pour obtenir la déformation désirée.

25 Au niveau aval, cette chambre 44 débouche radialement par les orifices aval 42 précités.

D'un côté amont, cette chambre 44 débouche par un orifice amont 48 agencé coaxialement à l'axe longitudinal 4' de l'outil d'application 4.

30 Cet orifice amont 48 est en communication fluidique avec la chambre 44 ; et il est connecté aux moyens 3 pour générer l'onde de choc dans le fluide de formage E contenu dans la chambre 44.

Par « onde de choc », on entend notamment, sans être limitée par aucune théorie, une onde associée à une transition brutale ; elle prend en particulier la forme d'une vague de haute pression.

35 Par « onde de choc », on entend encore un mouvement de choc (déplacement, pression ou autre variable), associé à la propagation du choc à travers le fluide de formage E.

Cette onde de choc est avantageusement caractérisée par un front d'onde dans lequel la pression croît brusquement jusqu'à une valeur relativement importante.

Les moyens 3 pour générer l'onde de choc dans le fluide de formage E comportent ici un piston 31 mobile en translation au travers de l'orifice amont 48 de la chambre 44, cela selon une direction orientée coaxialement à son axe longitudinal 4'.

5 Le piston 31 s'étend sur un tronçon amont de l'outil d'application 4, du côté de son extrémité amont 41a.

Ce piston 31 est muni de deux extrémités opposées :

- une extrémité aval 31a, s'étendant au sein de la chambre 44 de l'outil d'application 4 et en contact avec le fluide de formage E, et

10 - une extrémité amont 31b, coopérant avec des moyens 32 pour sa projection à grande vitesse dans le sens amont/aval afin de générer l'onde de choc recherchée dans le fluide de formage E.

Par exemple, la course du piston 31 est supérieure au volume de liquide à déplacer pour permettre la déformation ; et sa vitesse en projection est comprise entre 100 et 150 m/s.

15 Ce piston 31 est avantageusement du type à effet multiplicateur de pression.

Par « multiplicateur de pression », on entend une pression dans la chambre 44 de l'outil d'application 4 qui est égale à au moins le double de la pression générée au niveau de l'extrémité amont 31b du piston 31.

20 Par « effet multiplicateur de pression », on entend avantageusement un multiple de l'ordre de 5 à 15 (par exemple de l'ordre de 10), entre la pression exercée sur l'extrémité amont 31b du piston 31 et la pression exercée sur son extrémité aval 31a.

25 Pour cela, l'extrémité aval 31a du piston 31 a une surface frontale qui est de l'ordre de 5 à 15 (par exemple de l'ordre de 10) fois inférieure à la surface frontale de l'extrémité amont 31b du piston 31. Le rapport de section de ce piston 31 permet d'effectuer une multiplication de pression.

Par exemple, le diamètre de la surface frontale de l'extrémité aval 31a du piston 31 est compris entre 10 mm et 20 mm et le diamètre de la surface frontale de l'extrémité amont 31b du piston 31 est compris entre 50 mm et 70 mm.

30 La pression est avantageusement multipliée par un facteur de l'ordre de 5 à 15 (par exemple de l'ordre de 10) de l'amont vers l'aval.

Ce piston utilise ainsi un principe d'« intensification » de la pression du fluide.

En l'occurrence, l'extrémité amont 31b du piston 31 forme une tête de piston, et son extrémité aval 31a forme une tige s'étendant au sein de la chambre 44.

35 Le diamètre de cette extrémité aval 31a du piston 31, formant tige, est avantageusement identique, au jeu près, au diamètre de la chambre 44.

En pratique, la pièce P à former est convenablement rapportée dans la matrice 2, par positionnement dans son logement traversant 21.

En particulier, la partie projectile P13 de sa paroi P1 est convenablement agencée, axialement, en regard de l'empreinte 22 de cette matrice 2.

L'outil d'application 4 est ensuite introduit au sein de cette pièce P, de sorte que ses orifices aval 42 soient agencés en regard de cette même empreinte 22 de la matrice 2.

5 Cet outil d'application 4 est pour cela introduit en translation au travers de l'extrémité libre de la pièce P, coaxialement l'un par rapport à l'autre.

L'étanchéité entre l'extrémité aval 41b de l'outil d'application 4 et la paroi P1 à déformer est assurée par les moyens d'étanchéité 47 qui viennent s'intercaler entre la surface extérieure 43b de l'outil d'application 4 et la surface intérieure P11 de cette paroi P1.

10 L'outil d'application 4 est alors convenablement rempli avec le fluide de formage E, de sorte que ce dernier comble entièrement la chambre 44, en s'étendant au sein des orifices aval 42, et remplisse sa gorge 46 pour former la réserve de liquide R.

15 Les moyens 32 pour la manœuvre en translation du piston 31 sont alors mis en œuvre, de sorte à provoquer sa projection depuis une position amont rétractée (moitié supérieure de la figure 1) jusqu'à une position aval déployée (moitié inférieure de la figure 1).

L'extrémité aval 31a du piston 31 est ainsi déplacée à grande vitesse en direction des orifices aval 42 de l'outil d'application 4, ce qui génère une onde de choc dans le fluide de formage E présent au sein de la chambre 44 de l'outil d'application 4.

20 Cette onde de choc se propage dans le fluide de formage E jusqu'au réservoir de liquide R.

25 Le fluide de formage E exerce ainsi une pression radiale dynamique sur la face interne P11 de la partie projectile P13 à déformer, ce qui provoque son expansion radiale à grande vitesse jusqu'à venir épouser l'empreinte 22 de la matrice 2 (voir la moitié inférieure de la figure 1).

Une fois la déformation réalisée, l'outil d'application 4 est extrait de la pièce P déformée, qui est elle-même extraite de la matrice 2.

30 Pour le formage d'une nouvelle pièce P, il suffit d'armer le piston 31 dans sa position rétractée amont (moitié supérieure de la figure 1) et de reproduire les opérations précitées.

Les figures 2 et suivantes illustrent des modes de réalisation particuliers de la machine d'électro-hydroformage selon l'invention.

La machine d'électro-hydroformage 1, illustrée par les figures 2 et 3, est du type de celle décrite ci-dessus en relation avec la figure 1.

35 Elle comporte le support cible (non représenté), les moyens 3 pour générer l'onde de choc au sein du fluide de formage E, et l'outil 4 pour l'application du fluide de formage E sur la partie projectile de la paroi à déformer (non représentée).

Là encore, l'outil d'application 4 se présente sous la forme d'un organe tubulaire allongé cylindrique comportant deux extrémités : - l'extrémité amont 41a qui coopère

avec les moyens 3 pour générer l'onde de choc sur le fluide de formage \underline{E} , et - l'extrémité aval 41 \underline{b} munie de plusieurs orifices aval 42, pour le passage du fluide de formage \underline{E} et pour la propagation de l'onde de choc générée dans ce dernier.

5 Cet outil d'application 4 comprend encore les deux surfaces cylindriques : - la surface intérieure 43 \underline{a} , définissant la chambre 44 destinée à contenir le fluide de formage \underline{E} , et - la surface extérieure 43 \underline{b} , destinée à venir en regard de l'empreinte de la matrice et de la face interne de la paroi à déformer.

10 La chambre 44 de l'outil d'application 4 débouche, en aval, par les orifices aval 42 s'étendant dans le fond de la gorge 46 destinée à définir une réserve de liquide \underline{R} et, en amont, par un orifice amont 48 au niveau duquel s'étend le piston 31.

Cette chambre 44 de l'outil d'application 4 est ici pourvue de deux conduits débouchants 6, l'un supérieur 6 \underline{a} et l'autre inférieur 6 \underline{b} (figure 3).

15 Ces deux conduits débouchants 6 \underline{a} , 6 \underline{b} sont agencés coaxialement l'un par rapport à l'autre, perpendiculairement et de part et d'autre de l'axe longitudinal 4' de l'outil d'application 4.

20 Le conduit débouchant supérieur 6 \underline{a} est destiné à être raccordé à des moyens pour générer un vide primaire d'air au sein de la chambre 44, à savoir par exemple entre 1 et 1000 Pa ; et le conduit débouchant inférieur 6 \underline{b} est destiné à être raccordé à des moyens pour le remplissage et la vidange de cette chambre 44, avec le fluide de formage \underline{E} .

La fonction de ces moyens est d'éviter la création d'un matelas compressible d'air dans la chambre 44 lors de la génération de l'onde de choc par les moyens dédiés 3.

25 Les moyens 3 pour générer l'onde de choc comportent le piston 31 dont les moyens de manœuvre 32 consistent ici en des moyens de manœuvre dits « hydroélectriques ».

30 De manière générale, par « moyens de manœuvre hydroélectriques », on entend un dispositif assurant une projection du piston au moyen d'une force de propulsion générée par une onde de choc produite au sein d'un fluide conducteur par une décharge électrique adaptée.

Ces moyens de manœuvre 32 se composent ici d'une enceinte 32 \underline{a} délimitant une chambre 32 \underline{b} au sein de laquelle s'étendent une paire d'électrodes 32 \underline{c} et l'extrémité amont 31 \underline{b} du piston 31.

35 Les deux électrodes 32 \underline{c} sont destinées à conduire la décharge électrique au sein d'un fluide conducteur \underline{C} remplissant la chambre 32 \underline{b} précitée.

Les deux électrodes 32 \underline{c} sont disposées de part et d'autre de l'enceinte 32 \underline{a} ; elles sont à distance et en regard l'une de l'autre, cela ici selon un axe vertical ou sensiblement vertical.

Ces deux électrodes 32c peuvent être reliées par un fil conducteur fusible (non représenté), pour contrôler le temps d'initiation de l'onde de choc (en particulier en fonction de son temps de fusion).

5 L'enceinte 32a est avantageusement munie de conduits d'aspiration et de vide d'air (non représentés) dont la fonction est d'éviter la création d'un matelas compressible d'air lors de la décharge électrique.

Le piston 31 est là encore adapté à assurer un effet multiplicateur de pression.

10 Par « effet multiplicateur de pression », on entend avantageusement un multiple de l'ordre de 5 à 15 (par exemple de l'ordre de 10) entre la pression exercée par le fluide conducteur C sur l'extrémité amont 31b du piston 31 et la pression exercée dans le fluide de formage E par son extrémité aval 31a.

15 En pratique, pour provoquer le déplacement du piston 31, une décharge électrique intense (plusieurs dizaines de kilovolts et de kilo Ampères) est libérée en un temps très court (de quelques microsecondes à plusieurs centaines de microsecondes) entre les deux électrodes 32c.

Ce courant électrique intense passe au travers du liquide conducteur C situé dans l'enceinte 32b, générant une onde de choc primaire qui élève dynamiquement la pression de ce liquide conducteur C.

20 L'onde de choc primaire produite exerce une poussée sur l'extrémité amont 31b du piston 31 qui est projeté en translation vers l'aval.

Ce déplacement génère une onde de choc finale au sein du fluide de formage E de la chambre 44 de l'outil d'application 4.

25 Tel que développé précédemment, cette onde de choc finale se propage dans le fluide de formage E jusqu'à la gorge 46 pour provoquer l'expansion de la pièce P à grande vitesse, cela jusqu'à ce qu'elle épouse l'empreinte de la matrice (ici non représentée).

La figure 4 illustre une mise en œuvre de l'outil d'application 4 selon la figure 3, pour l'expansion de la partie projectile P13 de la pièce P dans une matrice 2.

30 Dans ce cas, cette partie projectile P13 vient se plaquer contre l'empreinte 22 de cette matrice 2 sous l'effet de l'onde de choc générée dans le fluide de formage E (tel qu'illustré sur la moitié inférieure de la figure 4).

La figure 5 illustre la mise en œuvre de l'outil d'application 4 de la figure 3, pour l'expansion de la partie projectile P13 de la pièce P dans une bague 7 rapportée par emmanchement.

35 La bague 7, formant ici le support cible, consiste par exemple en une pièce métallique, par exemple du type virole. Elle est maintenue dans l'empreinte 22 de la matrice 2.

Cette bague 7 comporte une surface intérieure 71 formant l'empreinte contre laquelle la partie projectile P13 de la pièce P est destinée à s'appliquer lors de sa mise en forme.

5 En pratique, la partie projectile P13 de la pièce P à former vient se plaquer contre l'empreinte 71 de la bague 7 rapportée, sous l'effet de l'onde de choc générée dans le fluide de formage E (tel qu'illustré sur la moitié inférieure de la figure 5).

Cette bague 7 est ainsi prise en sandwich entre la partie projectile P13 de la pièce P à former et l'empreinte 22 de la matrice 2. Elle est alors sertie sur la pièce P par dudgeonnage de sa partie projectile P13.

10 La figure 6 illustre l'outil d'application 4 selon les figures 2 et 3, dans lequel ses moyens d'étanchéité 47 consistent ici en une enveloppe souple 47**b**.

L'enveloppe souple 47**b**, hermétique aux fluides, consiste ici en une sorte de manchon réalisé dans un matériau tel que du polyuréthane.

15 Cette enveloppe souple 47**b** recouvre une portion aval de la surface extérieure 43**b** de l'outil d'application 4.

En particulier, cette enveloppe souple 47**b** s'étend en regard des orifices aval 42 de l'outil d'application 4, fermant l'ouverture périphérique de la gorge 46 pour délimiter radialement la réserve R.

20 Cette enveloppe souple 47**b** est avantageusement solidarisée avec l'outil d'application 4 au moyen de deux colliers 47**c** ménagés de part et d'autre des orifices aval 42 et de la gorge 46.

Cette forme de réalisation a l'intérêt de délimiter la réserve R, et d'éviter ainsi tout écoulement de liquide de formage E. De ce fait les opérations de vide et de remplissage ne sont pas renouvelées à chaque opération de formage.

25 Un tel outil 4, avec cette enveloppe souple 47**b**, est mis en œuvre d'une manière identique à celle décrite ci-dessus en relation avec les figures 1 à 5.

La figure 7 illustre encore une machine d'électro-hydroformage 1 du type de celle décrite ci-dessus.

30 Elle comporte le support cible (non représenté), les moyens 3 pour générer l'onde de choc au sein du fluide de formage E, et l'outil 4 pour l'application du fluide de formage E sur la partie projectile de la paroi à déformer (non représentée).

Les moyens 3 pour générer l'onde de choc comportent encore le piston 31, dont les moyens de manœuvre 32 consistent ici en des moyens de manœuvre dits « magnétiques ».

35 Les moyens de manœuvre « magnétiques » 32 comprenant une enceinte magnétique 32**m** munie d'une bobine 32**s**, avec ou sans concentrateur de champ magnétique.

L'extrémité amont 31**b** du piston 31 se situe dans l'enceinte magnétique 32**m**.

Cette extrémité amont 31**b** comporte ici une pièce 31**c**, conductrice de l'électricité, formant un propulseur qui est apte à subir des forces magnétiques destinées à assurer l'accélération à grande vitesse du piston 31.

5 Cette pièce propulseur 31**c** constitue ici un noyau massif qui permet d'ajuster l'angle du concentrateur de champ magnétique, sans changer la bobine 32**s**.

L'usinage de la surface périphérique de la pièce propulseur 31**c** permet d'obtenir une pièce tronconique divergeant de l'amont vers l'aval.

10 Cette pièce propulseur 31**c** présente un angle déterminé α (par rapport à l'axe longitudinal de ladite pièce propulseur 31**c**) qui a pour but de mettre en mouvement le piston 31.

La force axiale engendrée est liée à l'angle α du concentrateur de champ.

L'accroissement de cet angle α permet un accroissement de la force de propulsion générée sur le propulseur 31**c** et son piston 31 associé.

15 Tout autre forme pour les moyens de manœuvre « magnétiques » 32 est envisageable.

Il est par exemple possible d'utiliser une bobine sans concentrateur de champ (par exemple avec une bobine conique) ; l'angle α est alors fixé, et donc définitif.

20 La bobine peut encore consister en une bobine plate usinée en spirale, dont l'axe s'étend au moins approximativement coaxialement à l'axe du piston ; le piston en regard de la bobine subit directement la force générée par la décharge des condensateurs.

La présente invention apporte ainsi une solution technique intéressante pour l'expansion dynamique radiale d'une pièce, avantageusement une pièce de forme tubulaire radiale.

25 La déformation à grande vitesse de cette pièce permet de limiter le retour élastique, favorisant ainsi sa déformation plastique.

La machine selon l'invention apporte différents avantages, en particulier :

- une possibilité de sertissage sans pollution de la pièce **P**,
- une absence de retour élastique,
- 30 - un temps très court de mise en forme (quelques millisecondes),
- une application à tout type de matériau,
- une possibilité d'automatisation,
- une possibilité d'expansion radiale de pièces tubulaires de petit diamètre, par exemple compris entre quelques millimètres et quelques centimètres.

- REVENDICATIONS -

1.- Machine d'électro-hydroformage pour la déformation plastique d'une partie
projectile (P13) de la paroi (P1) d'une pièce (P) à former, de préférence une pièce
tubulaire cylindrique, par un fluide de formage (F) destiné à être appliqué sur une face
interne (P11) de ladite partie projectile (P13), laquelle machine d'électro-hydroformage
(1) comporte :

- un support cible (2, 7) pour la réception de ladite partie projectile (P13) de la
pièce (P) à former, lequel support cible (2, 7) comporte une empreinte (22, 71) destinée
à venir en regard d'une face externe (P12) de ladite partie projectile (P13),

- des moyens (3) pour générer une onde de choc au sein dudit fluide de formage
(F), adaptée à provoquer la déformation plastique recherchée de ladite partie projectile
(P13),

caractérisée en ce que ladite machine d'électro-hydroformage (1) comprend un
outil (4) pour l'application dudit fluide de formage (F) sur la face interne (P11) de ladite
partie projectile (P13), lequel outil d'application (4) comporte :

- une chambre (44) destinée à contenir ledit fluide de formage (F), coopérant
avec lesdits moyens (3) pour générer l'onde de choc dans le fluide de formage (F)
destiné à être contenu dans ladite chambre (44), et

- au moins un orifice aval (42), destiné à déboucher en regard de ladite partie
projectile (P13) de la paroi (P1) à déformer et en communication fluidique avec ladite
chambre (44), pour le passage dudit fluide de formage (F) et pour la propagation de
l'onde de choc générée en direction de l'empreinte (22, 71) dudit support cible (2, 7).

2.- Machine d'électro-hydroformage selon la revendication 1, caractérisée en ce
que l'outil d'application (4) se présente sous la forme d'un organe tubulaire cylindrique
qui délimite la chambre (44) destinée à être remplie avec ledit fluide de formage (F), et
qui comporte deux extrémités (41) :

- une extrémité amont (41a) coopérant avec les moyens (3) pour générer l'onde
de choc sur ledit fluide de formage (F), et

- une extrémité aval (41b) munie de plusieurs orifices aval (42) pour le passage
dudit fluide de formage (F) et pour la propagation de ladite onde de choc générée.

3.- Machine d'électro-hydroformage selon la revendication 2, caractérisée en ce
que les orifices aval (42) de l'outil d'application (4) débouchent radialement au travers
dudit outil d'application (4) et sont répartis sur la circonférence de son extrémité aval
(41b).

4.- Machine d'électro-hydroformage selon la revendication 3, caractérisée en ce
que l'extrémité aval (41b) de l'outil d'application (4) comporte une surface extérieure
cylindrique (43b) dans laquelle est ménagée une gorge (46) au sein de laquelle
débouchent les orifices aval (42), ladite gorge (46) étant destinée à former une réserve
de liquide (R) en regard de l'empreinte (22, 71) du support cible (2, 7).

5.- Machine d'électro-hydroformage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que l'outil d'application (4) comporte, au niveau du ou des orifices aval (42), des moyens (47) pour assurer une étanchéité au fluide de formage (F), afin de limiter la zone de travail de ce dernier.

5 6.- Machine d'électro-hydroformage selon la revendication 5, caractérisée en ce que les moyens d'étanchéité (47) comprennent :

- des joints (47a) ménagés de part et d'autre du ou des orifices aval (42), adaptés à venir s'intercaler entre ledit outil d'application (4) et la pièce (P) à déformer, ou

10 - une enveloppe souple (47b) recouvrant, de manière hermétique au fluide, le ou les orifices aval (42) de l'outil d'application (4).

7.- Machine d'électro-hydroformage selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que les moyens (3) pour générer l'onde de choc comportent un piston (31) adapté à assurer un effet multiplicateur de pression, lequel piston (31) est mobile en translation au travers d'un orifice amont (48) de l'outil d'application (4), en communication fluïdique avec sa chambre (44), lequel piston (31) comporte deux extrémités :

- une extrémité aval (31a) s'étendant au sein de la chambre (44) de l'outil d'application (4), et

20 - une extrémité amont (31b) coopérant avec des moyens (32) pour sa manœuvre en translation à grande vitesse.

8.- Machine d'électro-hydroformage selon la revendication 7, caractérisée en ce que les moyens (32) pour la manœuvre du piston (31) comprennent une enceinte (32a) amont dans laquelle s'étend l'extrémité amont (31b) dudit piston (31), laquelle enceinte (32b) est adaptée à recevoir un fluide conducteur (C) et est munie de moyens (32c) pour générer une décharge électrique dans ledit fluide conducteur (C) apte à générer une onde de choc au sein de ce dernier.

9.- Machine d'électro-hydroformage selon la revendication 7, caractérisée en ce que les moyens (32) de manœuvre du piston (31) comprennent une enceinte magnétique (32m) au niveau de laquelle s'étend l'extrémité amont (31b) dudit piston (31) qui est munie d'une pièce (31c) conductrice de l'électricité apte à subir des forces magnétiques destinées à assurer l'accélération à grande vitesse dudit piston (31).

35 10.- Machine d'électro-hydroformage selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que la chambre (44) de l'outil d'application (4) est raccordée encore - à des moyens pour générer un vide d'air au sein de ladite chambre (44) et - à des moyens pour le remplissage de ladite chambre (44) avec ledit fluide de formage (F).

11.- Procédé pour la déformation plastique d'une partie projectile (P13) de la paroi (P1) d'une pièce (P) au moyen d'une machine d'électro-hydroformage (1) selon

l'une quelconque des revendications 1 à 10, par exemple une pièce tubulaire pour son dudgeonnage ou pour sa mise en forme, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- 5 - une étape de positionnement de ladite pièce (P) à déformer dans le support cible (2, 7), par exemple une matrice (2) contenant éventuellement une pièce (7) à sertir par dudgeonnage,
- une étape de positionnement de l'outil d'application (4) de sorte à positionner son ou ses orifices aval (42) en regard de la partie projectile (P13) de la paroi (P1) à déformer et de l'empreinte (22, 71) du support cible (2, 7),
- 10 - une étape de génération de l'onde de choc dans le fluide de formage (F) présent au sein de la chambre (44) de l'outil d'application (4), et
- une étape d'extraction de la pièce (P) déformée plastiquement, par rapport audit outil d'application (4).

Fig.1

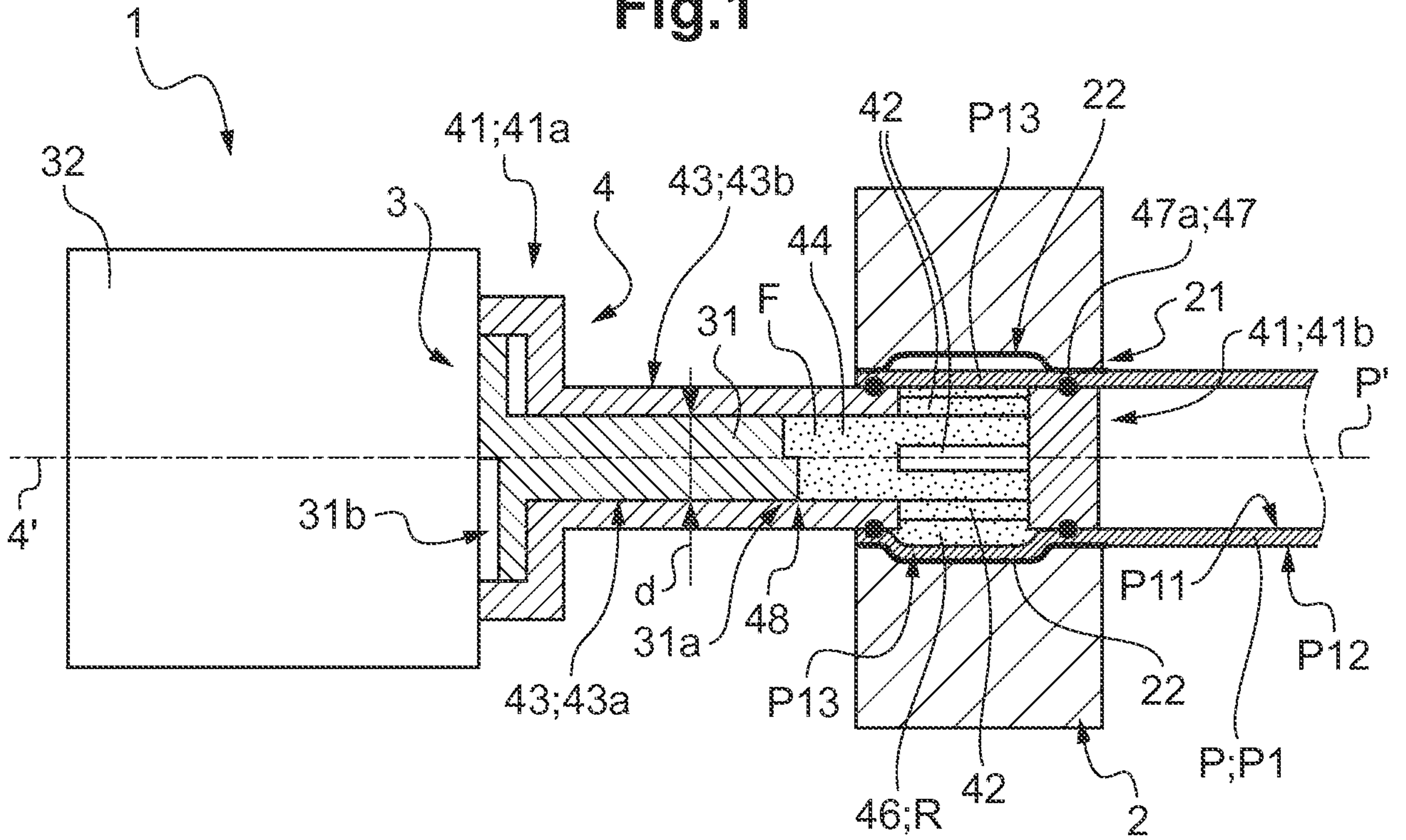


Fig.2

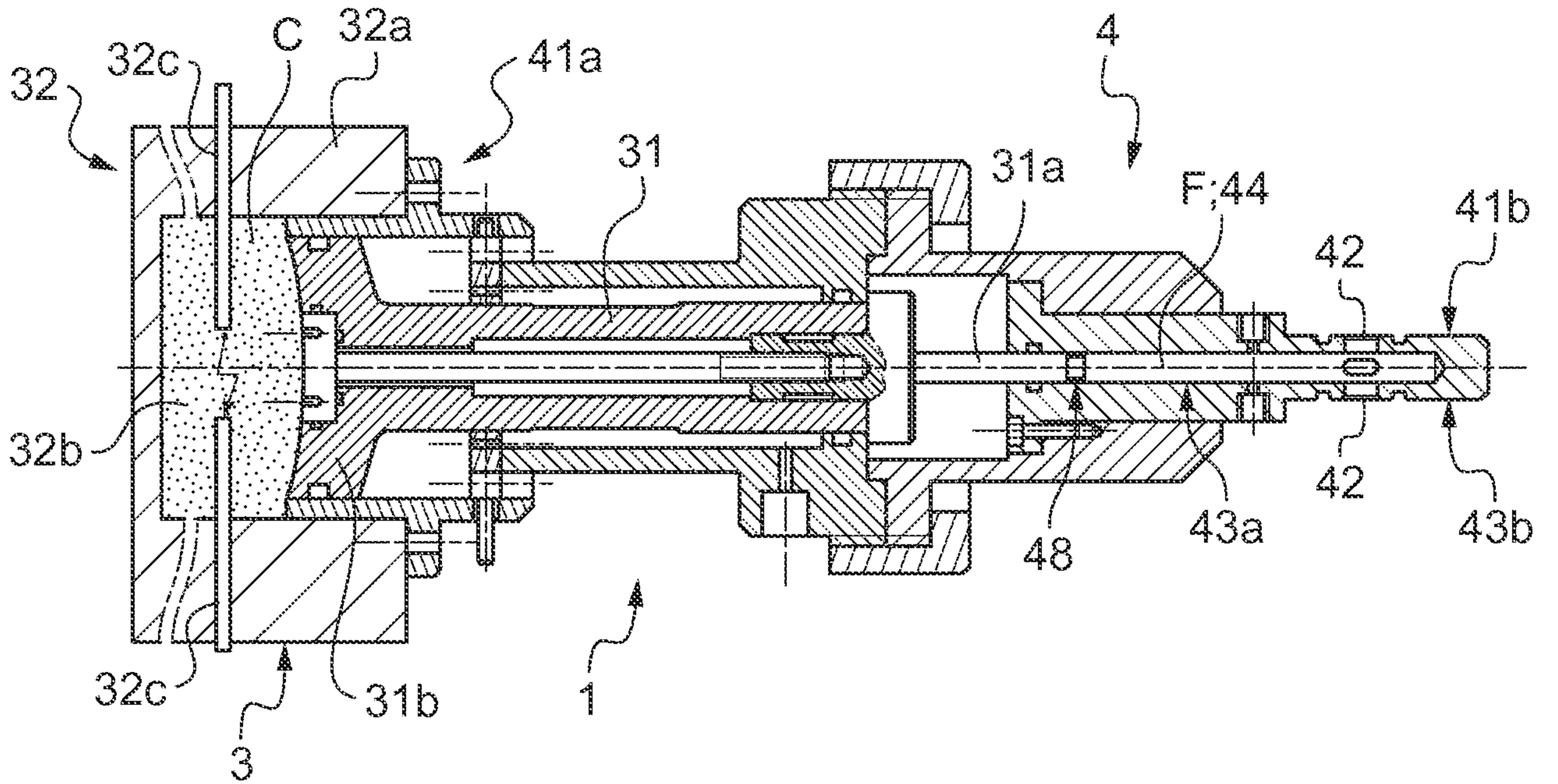


Fig.3

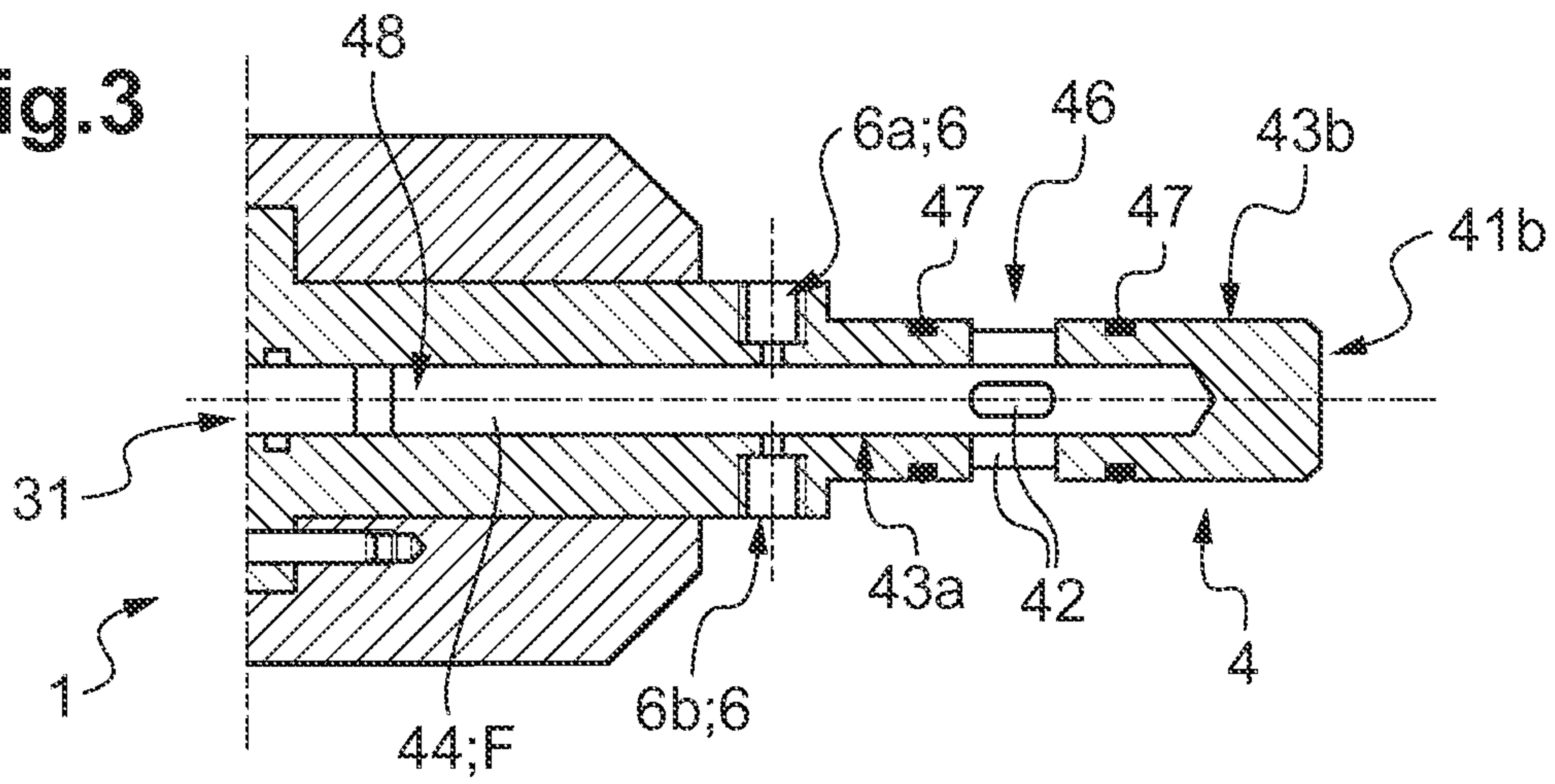


Fig.4

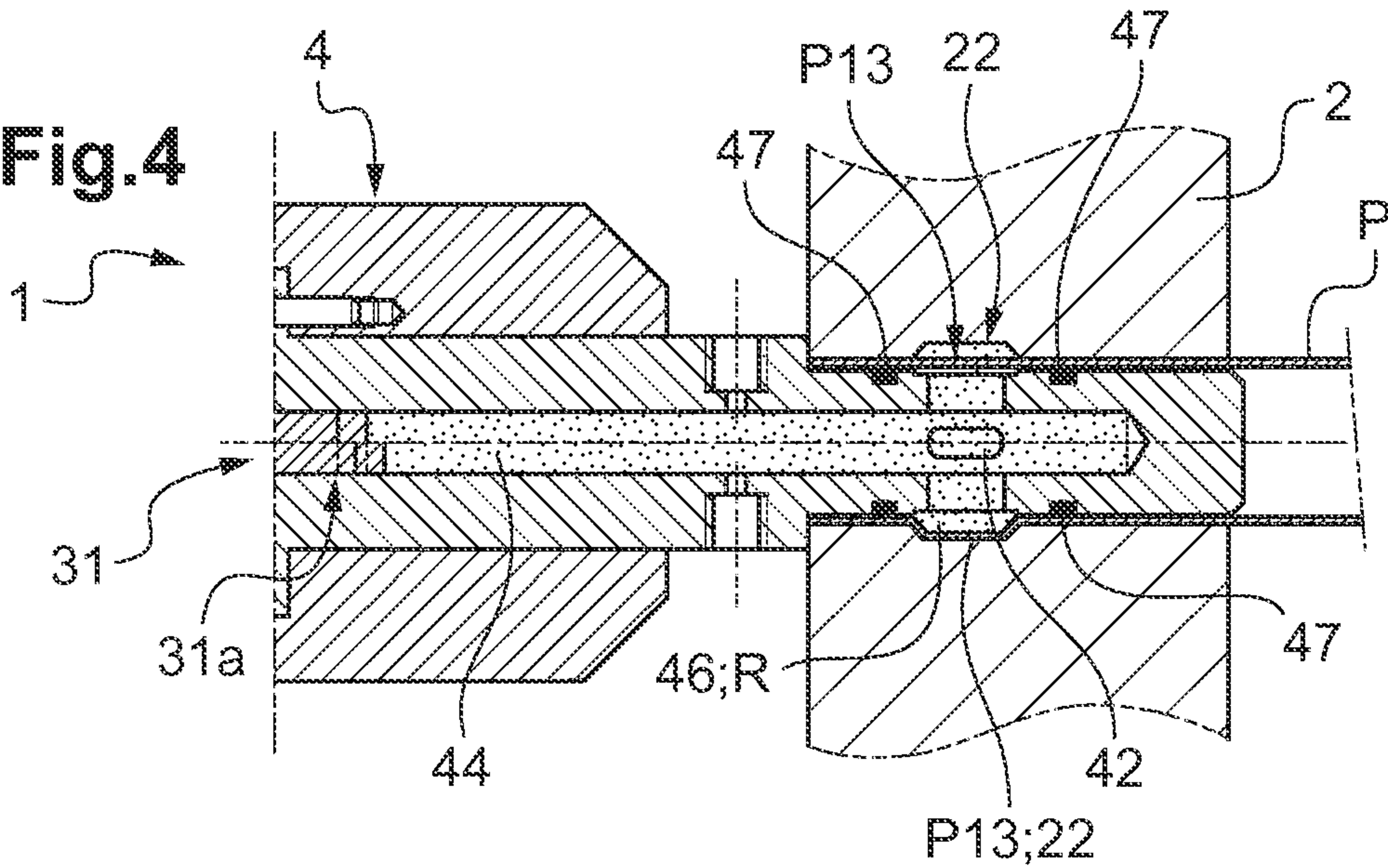


Fig.5

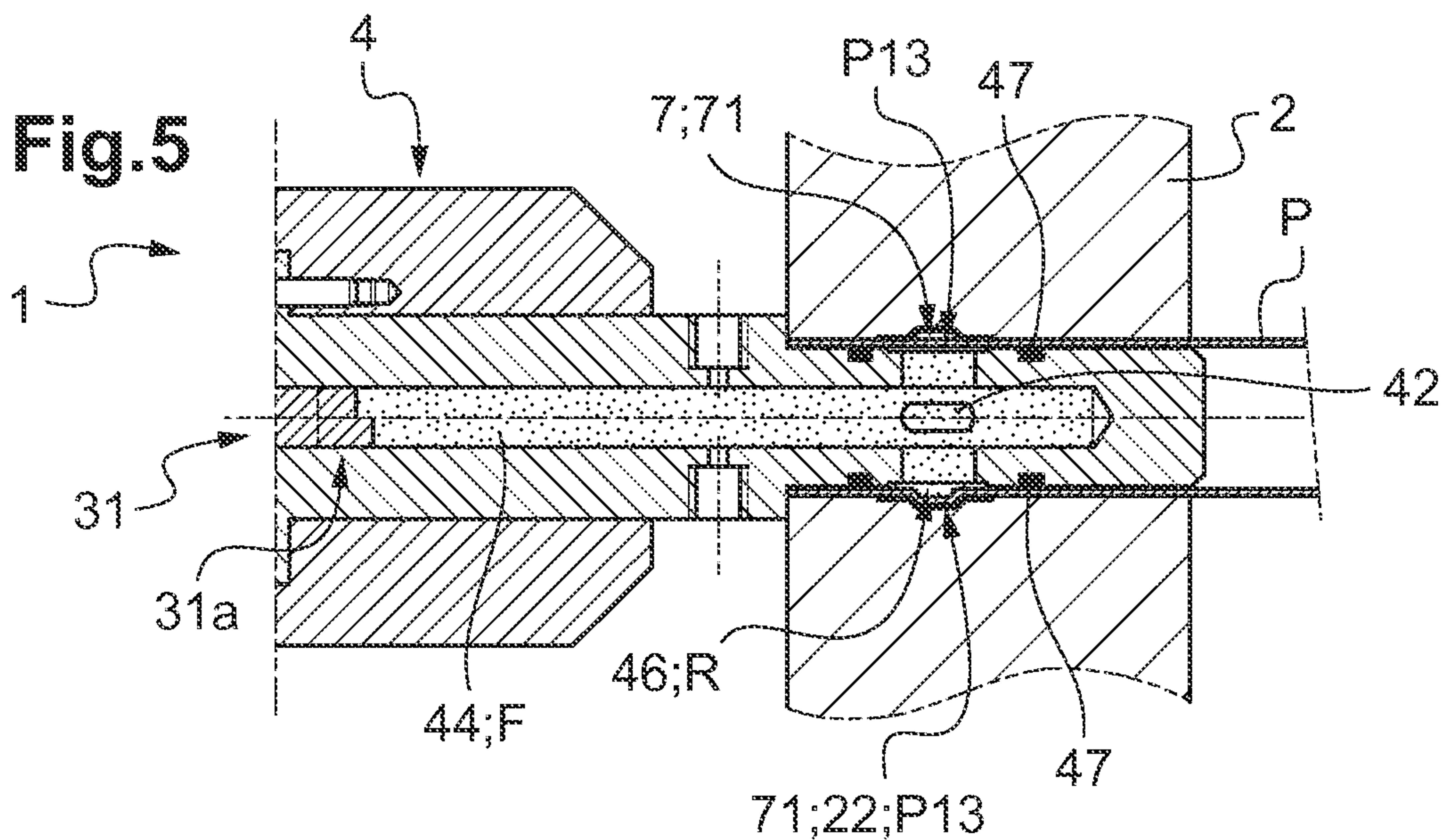


Fig.6

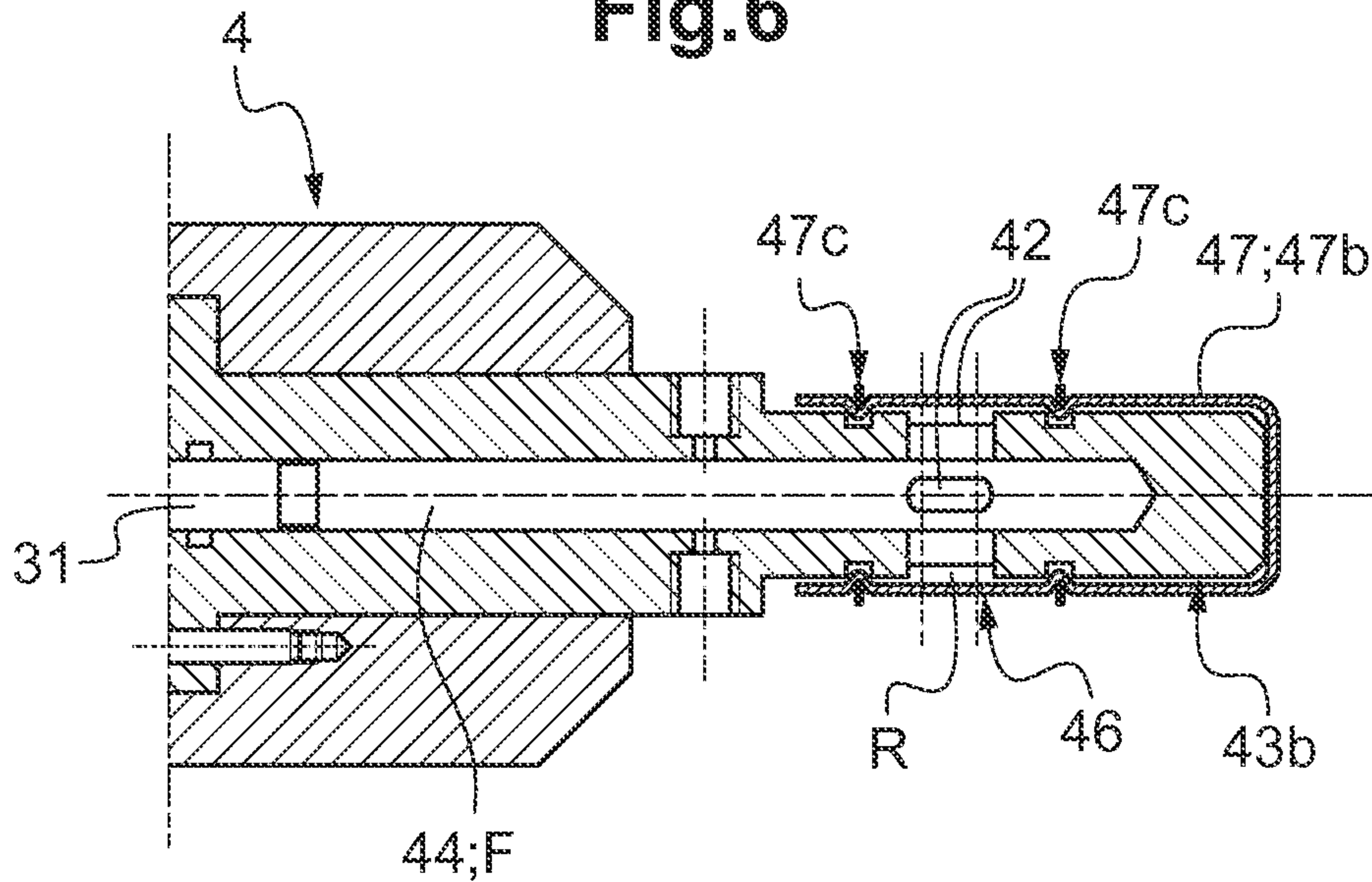


Fig.7

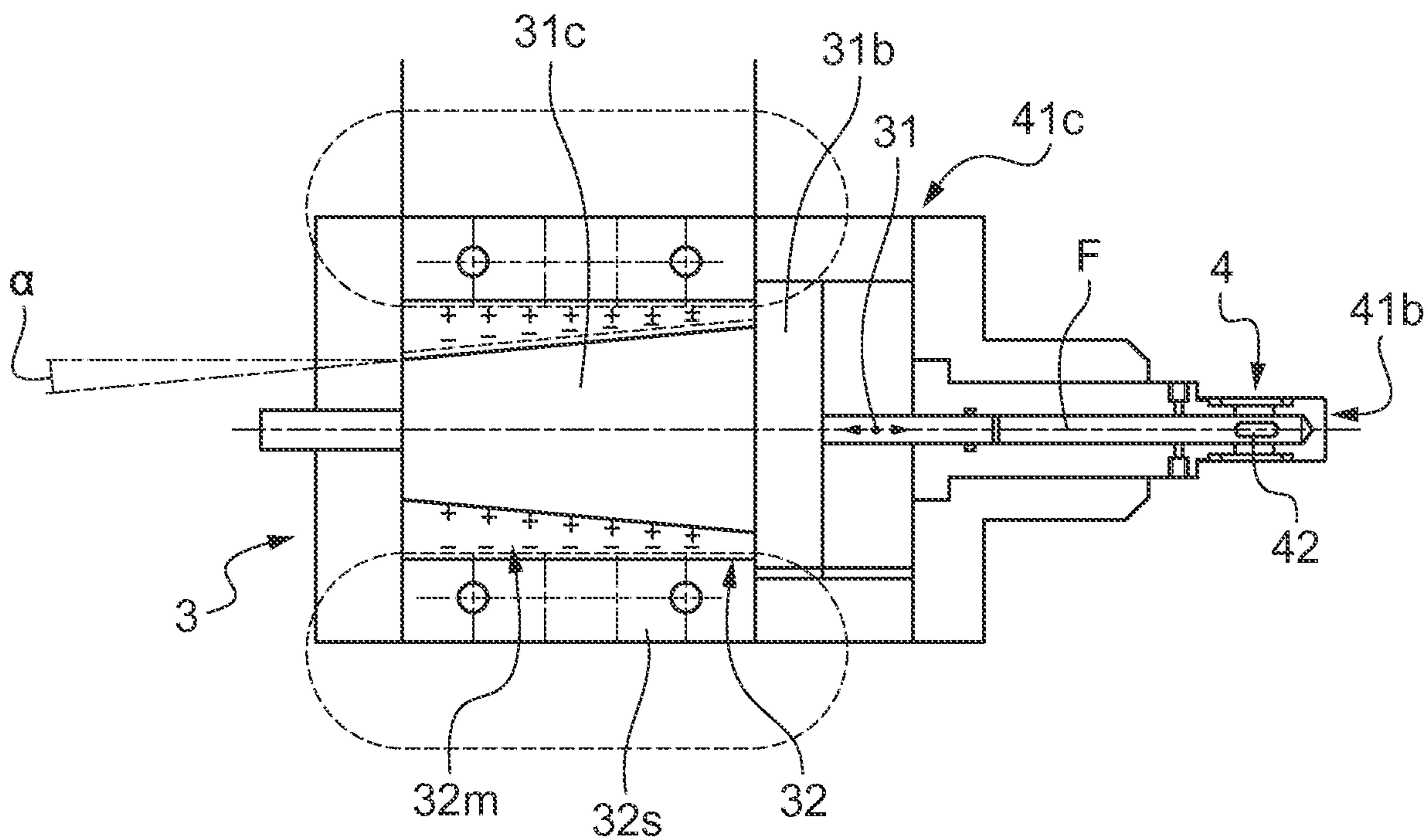


Fig.1

