

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 24 juin 1983.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 52 du 28 décembre 1984.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ
ANONYME POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCÉDÉS GEORGES CLAUDE. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Jean-Yves Faudou et Pierre Pelloux-Ger-
vais.

⑦3 Titulaire(s) :

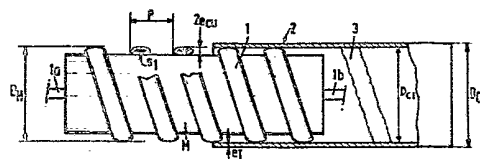
⑦4 Mandataire(s) :

⑤4 Procédé de fabrication d'une virole pour récipient de stockage de fluide cryogénique et virole ainsi obtenue.

⑤7 La virole entoure un réservoir dont elle est séparée par
une interparoi sous vide dans laquelle est logé un serpent.

On bobine sur un mandrin M un tube 1 de section droite
aplatie pour lui donner la forme d'une hélice, on enfle sur le
mandrin et le tube un cylindre en tôle 2, on injecte dans le
tube un fluide sous pression pour qu'il prenne, par expansion,
la forme d'un serpent de section circulaire et déforme locale-
ment la paroi du cylindre selon une empreinte hélicoïdale et on
fixe le serpent au cylindre pour obtenir la virole.

L'invention s'applique en particulier à des récipients pour
fluides cryogéniques munis de serpentins de réchauffage.



L'invention concerne un procédé de fabrication d'une virole en tôle pour un récipient de stockage d'un fluide cryogénique formé d'un réservoir logé dans ladite virole et séparé de cette dernière par une interparoi maintenue sous vide et d'au moins un serpentin de réchauffage placé dans ladite interparoi.

Les recipients de stockage de fluide cryogénique sont en général constitués d'un réservoir interne et d'une enveloppe externe tous deux métalliques séparés par un volume scellé maintenu sous vide et appelé "interparoi".

Les enveloppes externes de ces récipients sont formées généralement d'un corps cylindrique en tôle fermé à chacune de ses extrémités par un fond et doivent être prévus pour résister à la pression atmosphérique ainsi qu'aux contraintes mécaniques. On y parvient soit en donnant à la tôle une épaisseur uniforme suffisante, soit en munissant l'enveloppe de raidisseurs uniformément répartis.

Pour certains récipients, le stockage se fait à l'état liquide, le fluide est maintenu en pression par l'intermédiaire d'un serpentin de réchauffage dit "de mise en pression" et est vaporisé, avant utilisation, par l'intermédiaire d'un serpentin de réchauffage dit "d'utilisation", ces deux serpentins étant placés dans l'interparoi précitée. Cette disposition a l'intérêt d'employer la surface externe du récipient comme élément d'échange thermique et permet donc de réaliser un ensemble très compact.

Les récipients actuels, du fait qu'ils sont munis, pour résister à la pression atmosphérique et aux efforts verticaux résultant du poids du réservoir interne, d'enveloppes à paroi épaisse ou renforcée par des raidisseurs, présentent l'inconvénient d'avoir un poids prohibitif. On a proposé d'utiliser le ou les serpentins pour contribuer au raidissement de l'enveloppe, mais l'expérience a montré que cette utilisation faite avec les procédés de montage actuellement connus n'apporte pas un gain substantiel.

La présente invention a pour but de pallier les inconvénients sus mentionnés et, par conséquent, de réaliser une virole capable de résister à des contraintes importantes, qu'elles soient dues à la pression atmosphérique ou aux impératifs mécaniques, et nettement plus légère que celles obtenues par les techniques antérieures.

L'invention propose à cet effet un procédé qui consiste :

- à bobiner, sur un mandrin radialement extensible, un tube métallique au moins ayant, en section droite, une forme aplatie de façon à obtenir une hélice de pas p et de diamètre extérieur D_H ;
- 5 - à enfiler sur le mandrin et le tube un cylindre en tôle de section droite circulaire ayant un diamètre interne $D_{CI} = D_H +$ suffisant pour permettre un coulisement à frottement doux sur le tube ;
- à appliquer le tube contre la paroi du cylindre par extension du mandrin ;
- 10 - à injecter dans le tube aplati un fluide sous une pression P suffisante pour qu'il prenne, par expansion, la forme d'un serpentín de section droite circulaire et déforme localement la paroi du cylindre selon une empreinte hélicoïdale ;
- 15 - à fixer le serpentín sur le cylindre pour obtenir la virole.

L'invention réalise la déformation, donc le raidissement du cylindre, au moyen du serpentín, puis y incorpore ce dernier, l'ensemble ainsi constitué formant la virole. Ceci a l'avantage d'additionner les inerties du cylindre déformé et du serpentín tout en profitant du raidissement apporté par l'écrouissage du métal. Il en résulte que l'on peut utiliser une tôle moins épaisse que celles qui étaient utilisées jusqu'ici.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le tube et le cylindre sont munis, sur leur paroi externe et interne respectivement, d'une couche d'un produit d'étamage et la fixation précitée est effectuée par brasage.

On obtient ainsi une virole assurant les meilleures conditions de résistance au flambage.

Selon encore une autre caractéristique de l'invention, l'expansion du cylindre et du serpentín est assurée par l'injection d'un fluide hydraulique dans ledit serpentín.

Une telle injection permet de développer des forces suffisantes pour la déformation à la fois du métal du serpentín et de celui du cylindre.

35 L'invention vise également une virole pour récipient de stockage de fluide cryogénique obtenue par le procédé précité.

Selon l'invention, la paroi de cette virole présente une empreinte hélicoïdale faisant saillie vers l'extérieur et le serpentín est fixé à ladite paroi en coïncidence avec ladite empreinte.

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description qui va suivre.

Dans les dessins annexés donnés uniquement à titre d'exemple non limitatif :

- la figure 1 montre, de façon schématique, en coupe et avec
10 arrachement partiel, une virole en cours de fabrication selon le procédé de l'invention ;
- la figure 2 est une vue identique de la figure 1 mais montrant une phase ultérieure de la fabrication ;
- la figure 3 est une vue schématique d'une virole achevée selon un
15 premier mode de réalisation ;
- la figure 4 est une vue également schématique d'une virole selon un second mode de réalisation de l'invention en cours de fabrication ;
- la figure 5 montre la virole de la figure 4 après achèvement.

Le but de l'invention est d'obtenir un raidissement
20 important de la virole en utilisant uniquement le métal qui la constitue et en déformant ce métal pour lui conférer la fonction de raidissement recherchée, solution qui a l'avantage de supprimer l'adjonction de raidisseurs rapportés et de permettre l'utilisation d'une tôle plus fine que pour les viroles antérieurement connues. De
25 plus, cette déformation entraîne un écrouissage du métal qui augmente sensiblement le raidissement.

La déformation précitée est réalisée en utilisant le ou les serpentins de réchauffage et en les incorporant à la virole, ce qui permet d'additionner les inerties de la virole déformée et écrouie et
30 du ou des serpentins.

On a représenté aux figures 1 et 2 deux des phases principales de fabrication de la virole selon l'invention qui est constituée essentiellement par le tube 1 et par le cylindre 2. Le tube 1 est fait en un matériau suffisamment malléable, généralement
35 du cuivre, et présente une section droite S_1 de forme aplatie, c'est-à-dire que ses parois en regard sont presque jointives, ne ménageant entre elles qu'un très faible espace juste suffisant pour

l'admission d'un fluide hydraulique sous haute pression. Ce tube peut être obtenu à partir d'un tube ordinaire de section droite circulaire que l'on aplatit par étirage. Un tel tube de section droite circulaire ayant une épaisseur de paroi e_{cu} amène ainsi, après
 5 étirage, à un tube aplati ayant une épaisseur $2e_{cu}$. On procède ensuite à l'étamage de la paroi externe du tube 1, alors qu'il est sous forme aplatie, en le faisant passer dans un bain approprié. Le tube 1, ainsi recouvert d'une couche de produit d'étamage, est bobiné sur un mandrin extensible schématiquement indiqué en M, de façon à
 10 constituer une hélice de pas p et de diamètre externe D_H .

On forme par ailleurs le cylindre 2 à partir d'une tôle d'épaisseur e_T faite en un métal à haute résistance mécanique et haute tenue à la corrosion, généralement en acier inoxydable. On dépose sur cette tôle, alors qu'elle est à plat, un produit d'étamage
 15 disposé selon des bandes 3 correspondant au développé de l'hélice de pas p précitée. On procède ensuite au roulage de la tôle ainsi préétamée pour obtenir un cylindre de section droite circulaire, dont les deux bords sont soudés selon une génératrice. On a désigné par D_{CI} et D_{CE} les diamètres respectivement interne et externe du
 20 cylindre 2 ainsi obtenu. Le diamètre interne D_{CI} est très légèrement supérieur au diamètre D_H de l'hélice formée par le tube aplati 1 ($D_{CI} = D_H + \epsilon$).

On procède ensuite à l'enfilage du cylindre 2 sur le mandrin et l'hélice, cet enfilage se faisant sans difficulté en
 25 raison de la légère différence de cote précitée. On positionne le cylindre de façon que les bandes de produit d'étamage 3 de sa paroi interne coïncident avec le tube bobiné aplati 1.

On met ensuite le mandrin M en extension radiale, ce qui a pour effet de plaquer le tube aplati 1 contre la paroi interne du
 30 cylindre 2, de façon à supprimer tout jeu, donc empêcher tout mouvement relatif entre le tube et le cylindre au cours des opérations ultérieures.

On raccorde ensuite les deux extrémités 1_a et 1_b du tube 1 à un dispositif de mise en pression hydraulique (non représenté),
 35 délivrant une pression P capable de réaliser une expansion du tube 1 qui prend ou reprend une section droite circulaire s_2 de diamètre externe D et constitue un serpentín de diamètre externe D_{SH} . Cette

expansion du tube entraîne celle du cylindre 2 qui prend alors la forme indiquée en 4, c'est-à-dire d'une virole dont la paroi 5 présente une empreinte hélicoïdale 6 de pas p, égal au pas du tube hélicoïdal 1 avant ou après expansion.

5 On sépare ensuite l'ensemble constitué par le tube et la virole 4 du mandrin M après les avoir rendus provisoirement solidaires l'un de l'autre (par exemple par brasage des deux extrémités l_a et l_b à ladite virole 4) et on passe ledit ensemble au four à 220°C environ pour provoquer la fusion de la matière d'étamage
10 et assurer ainsi le brasage. On procède ensuite au rinçage de la virole ainsi obtenue.

Un certain nombre d'essais ont été faits pour déterminer, dans le cas où la virole doit être obtenue à partir d'un tube de cuivre et d'une tôle en acier inoxydable, les valeurs les plus
15 appropriées pour l'épaisseur et le diamètre du tube et pour l'épaisseur de la tôle.

En adoptant, pour le cylindre, un diamètre extérieur de 508 mm, valeur courante pour les récipients habituels de stockage de fluides cryogéniques, et une épaisseur de tôle comprise entre 1 et
20 1,5 mm capable de présenter une résistance suffisante au flambage ainsi qu'aux chocs ponctuels qui peuvent être imposés à ce type d'appareil, on a déterminé expérimentalement les relations suivantes:

$$(1) \quad \frac{e_{cu}}{D} = K \cdot \frac{e_T}{D_{CE}}$$

25 avec $K = 45$
cette valeur de K étant imposée par les propriétés mécaniques des matériaux et

$$(2) \quad \frac{D}{2} = h$$

30 h étant la hauteur de l'empreinte en saillie sur la paroi de la virole, c'est-à-dire la flèche que présente l'empreinte hélicoïdale 6 par rapport au diamètre extérieur initial D_{CE} du cylindre 2.

Les calculs de tenue au flambage de la virole ont donné :

$$h = 6 \text{ mm}$$

35 d'autre part la résolutions des deux équations (1) et (2) a donné :

$$e_{cu} = 1,6 \text{ mm}$$

$$D = 12 \text{ mm.}$$

On a représenté aux figures 3 à 5, dans lesquelles les mêmes chiffres de référence désignent les mêmes éléments que dans les figures 1 et 2, deux modes de réalisation différents d'une virole selon l'invention.

5 La virole de la figure 3, réalisée à partir d'un cylindre en acier inoxydable, comporte deux serpentins hélicoïdaux en cuivre 7 et 8 dont les deux extrémités sont désignées par 7_a , 7_b et 8_a , 8_b et constituent un élément d'utilisation et un élément de mise en pression respectivement. Ces deux serpentins ont été obtenus à partir
10 de deux tubes séparés qui ont été bobinés sur le même mandrin, simultanément ou séparément, mais avec le même pas. Dans la virole terminée, ils sont disposés à la suite l'un de l'autre et se trouvent logés dans l'interparoi 9 qui sépare la virole proprement dite du réservoir interne 10.

15 La virole des figures 4 et 5 est réalisée à partir d'un tube en cuivre unique 12 dont les extrémités sont désignées par 12_a et 12_b qui, après brasage, est sectionné en deux points S_1 et S_2 de l'une de ses spires. On raccorde ensuite aux deux points S_1 et S_2 deux éléments rectilignes 13 et 14 dont les extrémités sont désignées
20 par 13_a et 14_a respectivement. On obtient ainsi un serpentín 12 - 13 d'utilisation et un serpentín 12 - 14 de mise en pression. Ce mode de réalisation a l'avantage de simplifier les diverses opérations de fabrication en particulier le bobinage. Il convient de remarquer que le sectionnement de la spire aux points S_1 et S_2 est effectué de
25 préférence après l'opération d'expansion.

A titre d'exemple, une virole selon l'invention a été réalisée de la façon suivante :

Le cylindre est constitué par une tôle en acier inoxydable Z5 CN 18.09 NFA 36209 d'épaisseur 1,5 mm. Il est étamé intérieurement
30 selon le développé d'une hélice de pas de 80 mm sur une largeur de 20 mm au moyen d'un mélange de plomb, d'étain, d'antimoine et de flux. Il est ensuite roulé pour donner un cylindre de section droite circulaire de diamètre extérieur $D_{CE} = 508$ mm.

Le serpentín (ou les serpentins) est réalisé à partir
35 d'un tube en cuivre Cu état 0 NFA SI 124 de section droite circulaire, ayant un diamètre extérieur $D = 12$ mm et d'épaisseur $e_{cu} = 1,6$ mm. Après aplatissage, le tube est revêtu, sur sa paroi

externe, d'une couche de produit d'étamage par passage dans un bain comportant un mélange de 60 % de plomb et de 40 % d'étain. On enroule le tube sur le mandrin selon une hélice au pas de 80 mm qui correspond, bien entendu, à celui de l'étamage du cylindre.

5 Après extension du mandrin, on procède à l'expansion du tube en le raccordant à un dispositif de mise en pression hydraulique qui y fait pénétrer un liquide sous une pression de 500 bars. Après expansion, les deux extrémités du serpentins sont fixées à la tôle, de préférence par brasage à l'argent, et on enlève l'ensemble du

10 mandrin. On peut alors, dans le cas où on désire obtenir une virole du type représenté à la figure 5, procéder au raccordement des éléments rectilignes nécessaires à cet effet. On place ensuite la virole dans un four de brasage pour l'amener à une température de 220°C environ. On procède enfin à un rinçage de la virole pour

15 éliminer les corps étrangers, résidus de brasage ou autres.

Des essais de flambage effectués sur des viroles ainsi réalisées ont montré que la pression au flambage était supérieure à 3b.

A titre de comparaison, on a pu constater également qu'une

20 virole non renforcée ayant sensiblement les mêmes caractéristiques dimensionnelles, c'est-à-dire le même diamètre (508 mm) et la même longueur (par exemple 1 m) doit, pour avoir une tenue équivalente au flambage et une résistance équivalente aux chocs, être réalisée à partir d'une tôle en acier inoxydable du même type que précitée mais

25 ayant une épaisseur de 2,5 mm.

De nombreuses variantes pourraient être apportées aux modes de réalisation décrits et représentés sans pour autant sortir du cadre de l'invention. C'est ainsi, par exemple, que le matériau de brasage pourrait être déposé sur le cylindre et sur le tube après

30 l'opération d'expansion sous pression. On pourrait utiliser également un mode de fixation autre que le brasage, par exemple le soudage.

REVENDICATIONS

1. - Procédé de fabrication d'une virole en tôle pour un récipient de stockage d'un fluide cryogénique formé d'un réservoir logé dans ladite virole et séparé de cette dernière par une interparoi maintenue sous vide et au moins un serpentín de réchauffage placé dans ladite interparoi, caractérisé en ce qu'il consiste :
- à bobiner, sur un mandrin radialement extensible, un tube métallique au moins ayant, en section droite, une forme aplatie de façon à obtenir une hélice de pas p et de diamètre extérieur D_H ;
 - 10 - à enfiler sur le mandrin et le tube un cylindre en tôle de section droite circulaire ayant un diamètre interne $D_{CI} = D_H + \varepsilon$ suffisant pour permettre un coulisement à frottement doux sur ledit tube ;
 - à appliquer le tube contre la paroi du cylindre par extension du mandrin ;
 - 15 - à injecter dans le tube aplati précité, un fluide sous une pression P suffisante pour qu'il prenne, par expansion, la forme d'un serpentín de section droite circulaire et déforme localement la paroi du cylindre selon une empreinte hélicoïdale ;
 - 20 - à fixer le serpentín le cylindre pour obtenir la virole.
2. - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le tube et le cylindre sont munis, sur leur paroi externe et interne respectivement, d'une couche d'un produit d'étamage et en ce que la fixation précitée est effectuée par brasage.
- 25 3. - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le produit d'étamage est déposé sur la tôle plane destinée à former, après roulage, le cylindre précité, selon le développé de l'hélice de pas p précitée.
4. - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le tube de section aplatie est obtenu par étirage d'un tube de section droite circulaire.
- 30 5. - Procédé selon les revendications 2 et 4, caractérisé en ce que l'étamage du tube est effectué postérieurement à son étirage.
- 35 6. - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'expansion du cylindre et du tube est assurée par l'injection

d'un fluide hydraulique dans ledit tube.

7. - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on bobine séparément sur le mandrin deux tubes de section droite aplatie de façon à obtenir, après mise en place du cylindre, extension radiale du mandrin et expansion desdits tubes et dudit cylindre par mise sous pression, deux serpentins l'un de mise en pression, l'autre d'utilisation.

8. - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le serpentín est sectionné après sa fixation sur le cylindre de façon à former un élément de mise en pression et un élément d'utilisation.

9. - Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la virole étant constituée d'un cylindre en tôle d'acier inoxydable et d'un serpentín hélicoïdal formé d'un tube en cuivre ayant, après expansion, une section droite circulaire, on a les relations :

$$(1) \quad \frac{e_{cu}}{D} = K \cdot \frac{e_T}{D_{CE}}$$

$$(2) \quad \frac{D}{2} = h$$

20 dans lesquelles :

e_{cu} = épaisseur du tube de cuivre

D = diamètre externe du tube en cuivre

e_T = épaisseur de la tôle

D_{CE} = diamètre externe du cylindre

25 K = 45 (pour $1 \text{ mm} < e_T < 1,5 \text{ mm}$)

h = Flèche de l'empreinte sur la paroi de la virole.

10. - Virole pour récipient de stockage d'un fluide cryogénique muni intérieurement d'au moins un serpentín de réchauffage et obtenue par le procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que sa paroi (5) présente une empreinte hélicoïdale (6) faisant saillie vers l'extérieur et en ce que le serpentín (7, 8, 12) est fixé à ladite paroi en coïncidence avec ladite empreinte.

11. - Virole selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'elle est en acier inoxydable et comporte deux serpentins (7, 8) en cuivre formés de deux éléments hélicoïdaux de même pas et disposés à la suite l'un de l'autre.

12. - Virole selon la revendication 10, caractérisée en ce qu'elle est en acier inoxydable et comporte deux serpentins en cuivre (12 - 13, 12 - 14) formés d'un même élément hélicoïdal (12) dont l'une des spires a été sectionnée.

1/4

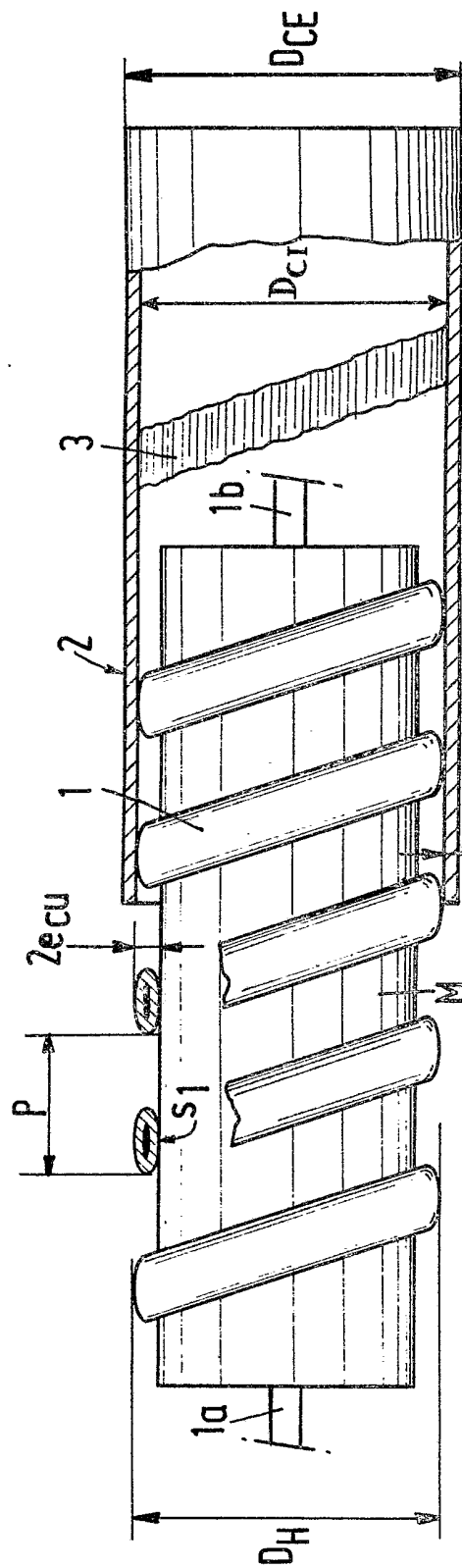


FIG. 1

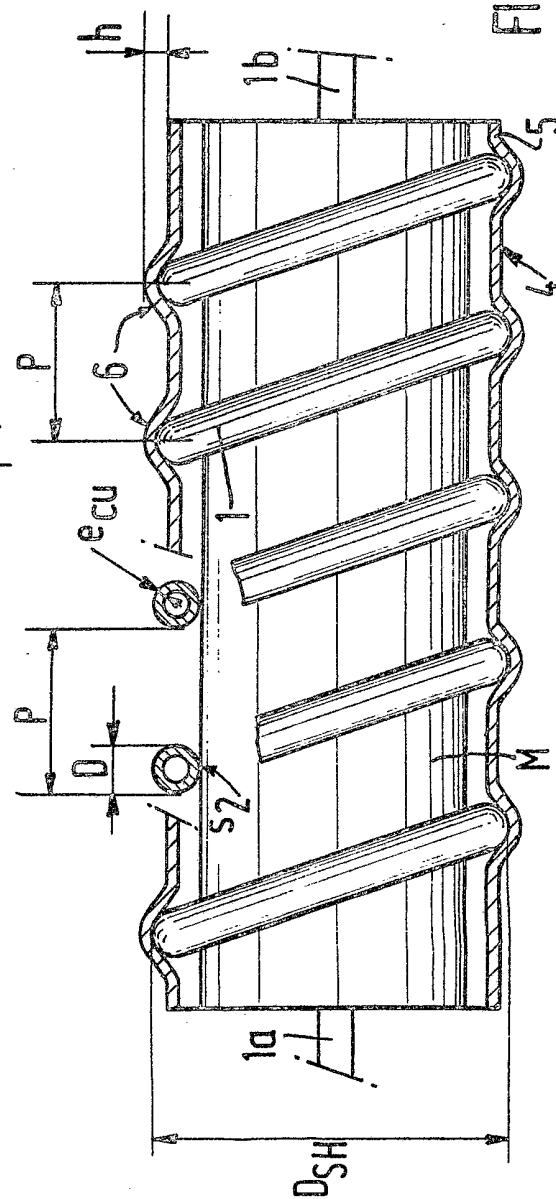


FIG. 2

2/4

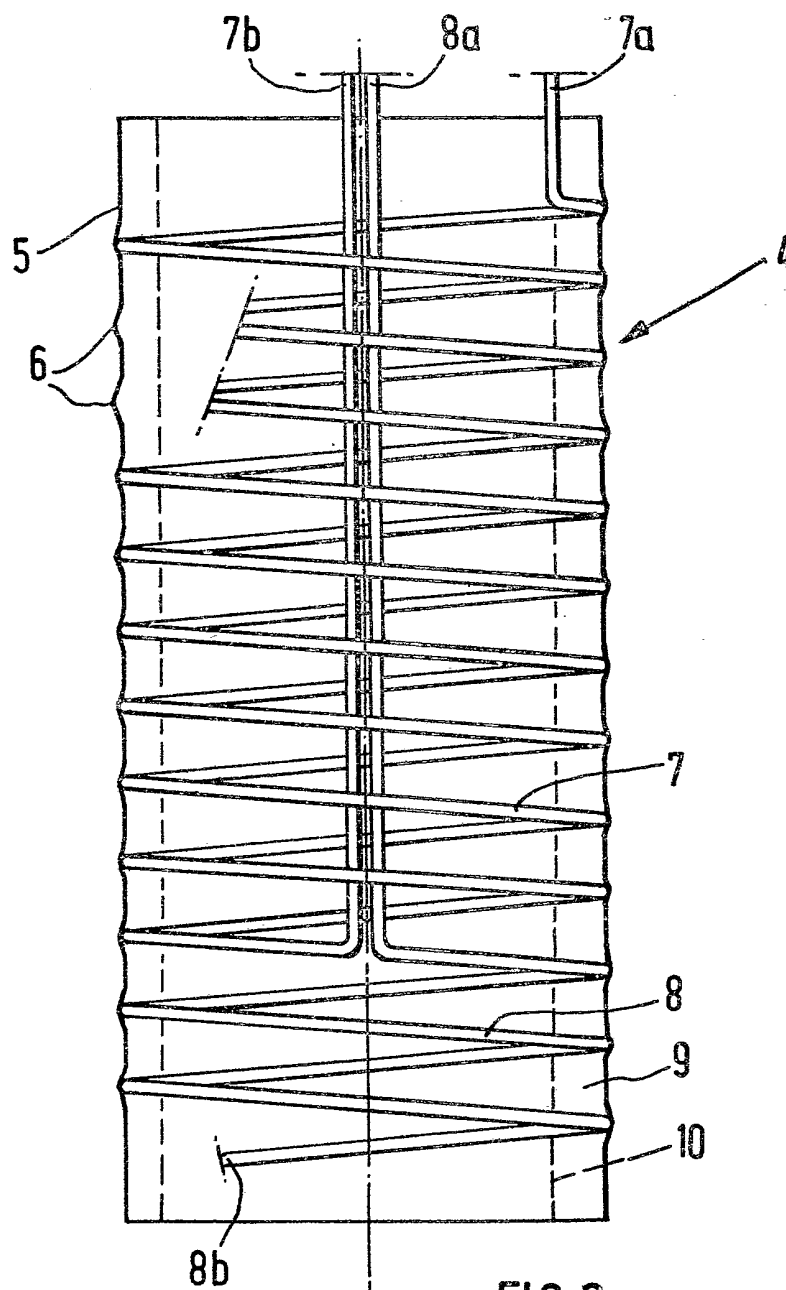


FIG.3

4/4

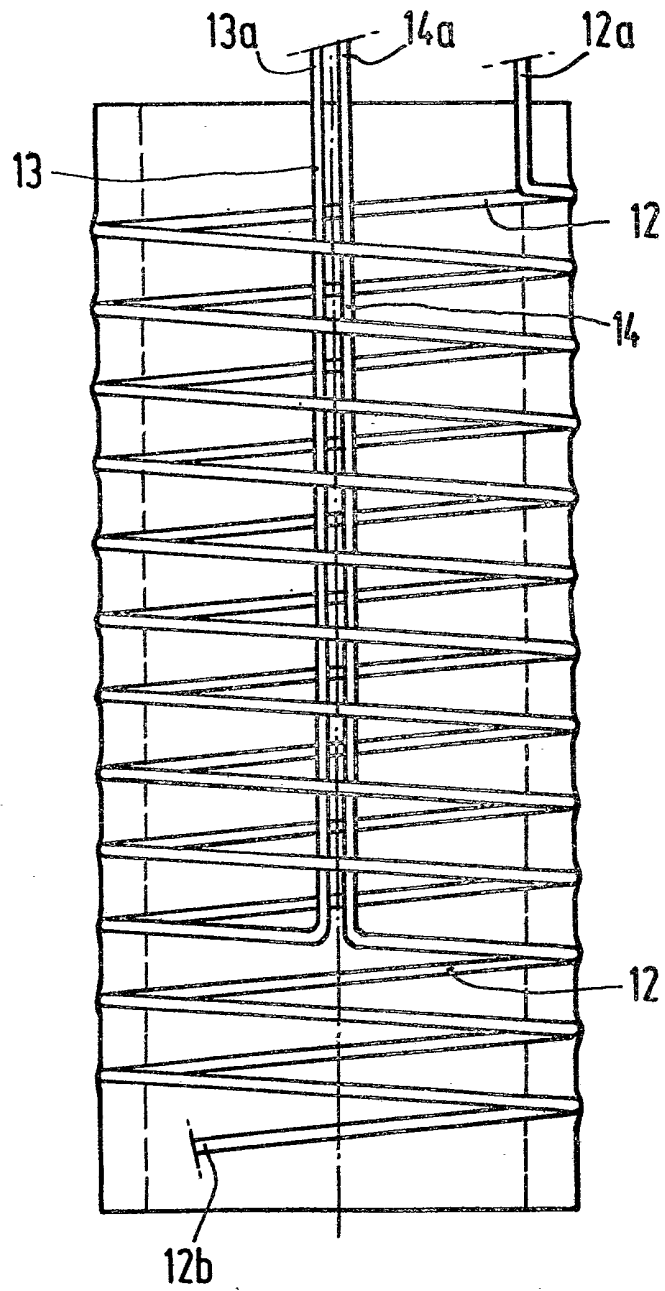


FIG. 5