

15 BREVET D'INVENTION

PREMIÈRE ET UNIQUE
PUBLICATION

22 Date de dépôt 3 décembre 1969, à 16 h 5 mn.
Date de la décision de délivrance..... 2 mai 1972.
Publication de la délivrance..... B.O.P.I. — «Listes» n. 21 du 26-5-1972.

51 Classification internationale (Int. Cl.) G 01 m 3/00//G 21 c 17/00.

71 Déposant : ÉLECTRICITÉ DE FRANCE (Service National), résidant en France.

73 Titulaire : *Idem* 71

74 Mandataire : Brevatome.

54 Procédé de repérage d'une fuite de vapeur dans un échangeur de chaleur à tubes de circulation baignés par du sodium liquide, et dispositifs pour la mise en œuvre de ce procédé.

72 Invention de : Alain Brachet et Louis Lannou.

33 32 31 Priorité conventionnelle :

La présente invention est relative à un procédé de repérage d'un tube comportant une fuite parmi l'ensemble de ceux qui constituent un échangeur de chaleur, notamment du genre dans lequel le fluide primaire baignant extérieurement ces tubes et fournissant les calories est du sodium liquide 5 tandis que le fluide secondaire recevant ces calories et circulant à l'intérieur des tubes est de l'eau à l'état liquide ou vapeur.

Elle a pour but surtout, dans un échangeur de ce type, comportant un nombre très élevé de tels tubes traversant de façon étanche une cuve contenant le sodium liquide et raccordés extérieurement à celle-ci à des 10 collecteurs assurant la répartition et la circulation de l'eau ou de la vapeur à l'intérieur des tubes, de réduire dans la plus large mesure l'indisponibilité de l'installation en cas de détection d'une fuite sur un tube quelconque, cette détection s'effectuant notamment par le dosage de l'hydrogène dans le sodium, et de sélectionner exactement ensuite le tube comportant 15 la fuite sans avoir à vidanger le sodium de la cuve et éventuellement même sans mettre à l'atmosphère le circuit de la vapeur. Elle a pour but également de permettre de façon simple, une fois le repérage du tube fautif effectué, le tamponnage de ce tube, c'est-à-dire l'obturation de ses deux extrémités, les opérations de repérage et tamponnage étant réalisées de manière simple 20 et rapide; une remise en route accélérée de l'installation est ainsi rendue possible.

On sait que les échangeurs de chaleur et notamment ceux associés à des réacteurs nucléaires refroidis par sodium liquide, posent des problèmes délicats en ce qui concerne la sûreté des installations. En effet, toute 25 fuite survenant sur un des tubes de l'échangeur, permet à la vapeur à haute pression circulant dans ce tube de pénétrer dans le sodium qui le baigne extérieurement. La réaction entre le sodium et l'eau qui en résulte présente des inconvénients multiples qui se traduisent d'une manière ou d'une autre par une indisponibilité plus ou moins durable de l'installation.

Si la fuite du tube considéré est importante, supérieure par exemple à quelques grammes d'eau par seconde, en particulier lorsqu'elle correspond à une rupture de ce tube, l'arrêt de l'installation est obligatoire, sa 30 remise en état étant toujours complexe et coûteuse. Si la fuite est plus faible, comprise par exemple entre quelques centièmes de grammes par seconde et quelques grammes par seconde, due notamment à une fissure ou à un trou de faible dimension, la réaction est moins violente mais l'expérience montre que cette fuite se comporte néanmoins comme un véritable chalumeau en milieu liquide, ce chalumeau risquant d'endommager gravement et rapidement les

structures voisines et en particulier les autres tubes. Là encore, l'arrêt total de l'installation est pratiquement nécessaire pour effectuer les réparations ou inspections indispensables.

Enfin, si la fuite de l'un quelconque des tubes du faisceau constituant l'échangeur est extrêmement faible, inférieure par exemple à quelques centièmes de gramme par seconde, et peut de ce fait être assimilée à ce qu'il est convenu d'appeler une "microfuite", provenant par exemple d'un défaut de fabrication ayant échappé au contrôle préalable des tubes avant montage dans l'échangeur ou de toute autre cause (fissure de fatigue par exemple), on constate que les conséquences pour le voisinage de cette microfuite sont relativement inexistantes ou tout au moins suffisamment faibles pour ne provoquer des dégâts notables qu'après une durée d'action importante. Dans ce dernier cas, il est donc possible d'envisager une indisponibilité très réduite de l'installation. En effet, dans ce cas, si l'on peut localiser le tube fuyard et le mettre hors service en perturbant le moins possible le fonctionnement de l'installation, il n'y a pas de raison d'entreprendre un démontage de l'appareil pour inspection comme cela s'impose pour les fuites de débit supérieur, par suite de leur action sur le voisinage.

Dans ce but, la présente invention concerne un procédé qui permet d'effectuer la réparation d'une fuite minime, ou microfuite au sens défini ci-dessus, sans nécessiter une indisponibilité prolongée de l'installation, le tube fautif, une fois repéré, pouvant être aisément tamponné, c'est-à-dire bouché à l'une et à l'autre de ses extrémités à l'extérieur de la cuve contenant le sodium. Il résulte seulement de ce tamponnage une légère diminution de l'efficacité thermique de l'échangeur généralement négligeable si l'on considère le nombre très élevé de tubes constituant l'installation.

A cet effet, le procédé selon l'invention consiste principalement dans un premier temps à détecter la fuite en évaluant son débit pour la considérer le cas échéant comme une microfuite, dans le même temps ou dans un second temps à repérer parmi l'ensemble des tubes de l'échangeur et par une méthode en elle-même connue, un lot donné de tubes contenant celui qui présente la fuite, ces deux opérations préliminaires étant effectuées sans modification du régime de fonctionnement de l'installation, puis dans un dernier temps à sélectionner parmi ce lot le tube présentant la fuite et enfin à tamponner ce tube à l'extérieur de la cuve sans vider celle-ci du sodium qu'elle contient et dans le meilleur cas sans mettre à l'atmosphère les tubes de circulation de vapeur.

D'une manière générale, la méthode de repérage du lot de tubes contenant le tube présentant la fuite, consiste à doser l'hydrogène dans le sodium, notamment par le procédé connu de la "membrane diffusante" associée préférentiellement à un spectromètre de masse. En outre et selon
5 une autre caractéristique importante de l'invention, la sélection du tube présentant la fuite parmi le lot de tubes préalablement repéré, consiste, après amener de l'échangeur à une température isotherme où la puissance calorifique échangée est sensiblement nulle et après décompression de la vapeur dans les tubes de circulation, à raccorder successivement chaque
10 tube du lot à un réservoir de fluide hydrogéné, puis à détecter l'hydrogène dans le sodium notamment par la méthode de détection connue, permettant ainsi de déduire la position du tube incriminé.

On a déjà constaté antérieurement à la présente invention qu'il n'était pas rentable d'employer les systèmes de détection utilisés pour
15 découvrir la présence globale d'hydrogène dans le sodium, au repérage en marche normale de l'installation, des tubes susceptibles de présenter une fuite, en adaptant notamment à ces systèmes un mécanisme complexe permettant l'inspection tube par tube de l'ensemble de ceux-ci. Un échangeur de chaleur pour réacteur nucléaire de puissance notable comportant en effet plusieurs
20 centaines ou même milliers de tubes, toute méthode de repérage direct implique de ce fait des prix de revient rapidement prohibitifs.

En revanche et conformément à l'invention, il devient possible et relativement peu coûteux, de réaliser un dispositif qui, dans une première
25 étape, sélectionne un lot de quelques tubes, choisi parmi l'ensemble des tubes de l'installation et susceptible de comporter le tube présentant la fuite détectée, ces opérations de détection et de sélection approximatives étant faites simultanément au cours de la marche normale de l'installation. Dans une seconde étape de durée limitée pendant laquelle sont réalisées des conditions particulières de températures et de pressions dans l'échangeur,
30 le dispositif assure le repérage précis du tube présentant la fuite parmi le lot de tubes précédemment sélectionné, cette opération s'effectuant avec un minimum de perturbations du fonctionnement de l'installation.

Le mode opératoire adopté nécessite, après repérage du lot de tubes contenant celui qui présente la fuite, un réglage de la puissance
35 du réacteur de manière à amener le sodium à une température sensiblement isotherme où la puissance calorifique échangée dans l'échangeur considéré est pratiquement nulle, cette température étant évidemment compatible avec la tenue mécanique de l'ensemble des tubes de l'appareil et avec le fonctionnement général de l'installation, tout en étant préférentiellement mais non

nécessairement supérieure à la température de fusion de la soude (NaOH),
température voisine de 320°C. Simultanément, la pression de la vapeur à
l'intérieur des tubes de l'échangeur, est réduite à une valeur légèrement
supérieure à celle du sodium pour éviter une pénétration de ce dernier à
5 travers la fuite du tube que l'on cherche à détecter. Avantagement, la
pression dans les tubes est alors assurée par un gaz inerte tel que l'argon ou
l'azote provenant d'une source d'appoint extérieure. L'étape finale consiste
ensuite à injecter par un orifice spécialement prévu dans les tubes et en
agissant à tour de rôle sur chaque tube du lot présélectionné, un fluide
10 hydrogéné constitué par de l'eau déminéralisée et dégazée à l'état liquide
ou vapeur ou même par de l'hydrogène, ce fluide étant introduit à la pression
du gaz inerte et dans le cas de l'eau à une température égale à la température
isotherme du sodium. La réponse du système de détection de l'hydrogène permet
alors de repérer immédiatement le tube présentant la fuite.

15 Avantagement, au cours de cette dernière étape, il est souhaitable
de diminuer le débit du sodium dans l'échangeur de manière à augmenter
la sensibilité de la détection. Par ailleurs, il est à noter que le bouchage
intempestif de la fuite par le sodium ou les produits de réaction est
relativement peu à craindre puisque toutes les opérations sont conduites en
20 perturbant le moins possible les conditions de fonctionnement par rapport aux
conditions normales au cours desquelles la fuite a été primitivement repérée.

Quand le tube présentant la fuite est ainsi déterminé, le circuit
de vapeur sous pression de gaz inerte est décomprimé jusqu'à une valeur
légèrement supérieure à la pression atmosphérique de façon à éviter les
25 entrées d'air au cours de l'opération/^{finale} de tamponnage du tube incriminé et de
mise hors circuit de celui-ci. Une fois ce tamponnage réalisé, l'échangeur
de chaleur est à nouveau remis en service sans que l'on ait vidangé le
sodium ni même à aucun moment arrêté totalement sa circulation. En outre,
dans la variante la plus avantageuse de la méthode, dans laquelle on utilise
30 comme fluide traceur l'eau liquide, il est possible d'éviter toute entrée
d'air dans le circuit de la vapeur. Dans les autres variantes, l'entrée
d'air reste toujours aussi réduite que possible. L'indisponibilité de
l'installation est donc dans l'ensemble de très faible durée, l'opération
de repérage du tube présentant la fuite ne nécessitant en elle-même aucun
35 démontage important. Cette opération n'exige pas en outre de matériel ou
de personnel spécialisé, seul étant employé le matériel de contrôle déjà
en place, réalisant de façon en elle-même connue la détection de l'hydrogène
dans le sodium.

D'autres caractéristiques du procédé selon l'invention apparaîtront encore à travers la description qui suit de plusieurs exemples de réalisation de dispositifs prévus pour la mise en oeuvre de ce procédé, ces dispositifs, donnés à titre indicatif et non limitatif, faisant néanmoins
5 partie de la présente invention.

Sur les dessins annexés, les Fig. 1 et 2 sont des vues schématiques en coupe d'un échangeur de chaleur comportant une cuve et un ensemble de tubes de circulation de vapeur montés à travers cette cuve.

- la Fig. 3 est une vue en coupe d'un réservoir annexe, permettant
10 de mettre sous pression d'un fluide hydrogéné les différents tubes appartenant à un lot de ceux-ci, préalablement sélectionné.

- les Fig. 4 et 5 sont des vues de détails à plus grande échelle d'une partie d'un des tubes de l'échangeur.

- la Fig. 6 est une vue en coupe d'un autre mode de réalisation
15 d'un échangeur utilisant une variante du procédé selon l'invention.

Sur les Fig. 1 et 2, l'échangeur de chaleur représenté comporte, de façon très schématique, une cuve 1 adaptée à la circulation en continu d'un fluide primaire, notamment de sodium liquide 2 provenant directement ou indirectement du coeur d'un réacteur nucléaire (non représenté), ce
20 sodium pénétrant dans la cuve 1 par une canalisation 3 et en sortant par une canalisation 4. Le sodium en circulation baigne ainsi par leur surface extérieure une série de tubes 5 traversant de façon étanche la cuve 1, ces tubes étant raccordés à l'extérieur de la cuve à un collecteur d'entrée 6 et à un collecteur de sortie 7 permettant d'assurer la circulation dans ces
25 tubes d'un fluide secondaire tel que l'eau à l'état liquide ou de la vapeur d'eau, échangeant des calories avec le sodium. L'exemple schématiquement représenté sur la Fig. 1 illustre un montage particulier des tubes 5 où ceux-ci sont montés en suspension dans la cuve 1, tandis que l'exemple illustré sur la Fig. 2 montre ces tubes traversant la cuve sensiblement axialement,
30 cette dernière disposition, dite à tubes vidangeables, permettant notamment d'effectuer la purge de ces tubes.

La Fig. 3 représente un réservoir extérieur permettant, conformément au procédé de l'invention, d'injecter dans chacun des tubes de l'échangeur une quantité convenable d'un fluide hydrogéné et en particulier
35 d'eau 12 déminéralisée et dégazée à l'état liquide ou vapeur, dans des conditions données de température et de pression précisées plus loin. Ce réservoir 10 comporte principalement une enveloppe 11 à l'intérieur de laquelle le niveau de l'eau est mesuré par un dispositif convenable, à

niveau extérieur 13 par exemple, réuni par des canalisations 14 et 15 à l'enveloppe 11. Cette dernière est doublée extérieurement par une couche convenable 16 d'un matériau calorifuge et comporte à sa partie inférieure un élément chauffant 17, permettant d'amener l'eau 12 à une température donnée mesurée à l'aide du capteur de température 26. Le réservoir 10 est par ailleurs relié à un circuit de mise en pression, comportant des canalisations 18, 19 et 20 raccordées à une conduite 21 d'amenée d'un gaz inerte tel que de l'argon ou de l'azote, des manomètres 22 et 23 permettant de mesurer la pression de ce gaz et de l'eau dans le réservoir. Une vanne 24 permet de réunir le réservoir 10 à une conduite d'appoint en eau ; enfin, l'évacuation hors du réservoir s'effectue par une vanne 25 permettant de le raccorder à un quelconque des tubes 5 de l'échangeur selon l'une des Fig. 1 et 2 précédentes.

Afin de permettre la liaison du réservoir 10 avec les tubes 5, ceux-ci sont avantageusement munis, comme l'illustrent plus spécialement les vues à plus grande échelle des Fig. 4 et 5, d'un trou latéral 30, normalement fermé par un bouchon 31 avec écrasement d'un joint d'étanchéité 32. Lorsqu'il s'agit de connecter le réservoir 10 aux tubes 5, on enlève le bouchon 31 et on adapte sur l'orifice 30, l'extrémité du conduit 33 sur la sortie de la vanne 25, ce conduit 33 comportant de préférence un clapet à bille 34 sollicité par un ressort 35 jouant le rôle de clapet de non-retour vers le réservoir 10, ou vers l'atmosphère.

Le procédé de contrôle et de mesure selon la variante la plus avantageuse de l'invention peut alors être mis en oeuvre de la manière déjà explicitée : après repérage dans un premier temps et au cours du fonctionnement normal de l'installation, parmi l'ensemble des tubes 5 de l'échangeur, d'un lot de tubes comportant celui qui présente une fuite, celle-ci étant préalablement constatée par un ensemble de mesure annexe du genre détecteur d'hydrogène dans le sodium à "membrane diffusante" (non représenté) et classée par la valeur de son débit dans la catégorie des microfuites n'exigeant pas un arrêt total de l'installation, on réalise dans cette dernière des conditions de température isotherme et de pression selon des caractéristiques déjà mentionnées. On met ensuite le circuit de la vapeur sous une pression de gaz inerte, correspondant à une valeur légèrement supérieure à celle du sodium, puis on adapte aux tubes du lot sélectionné les dispositifs du type représenté Fig. 5. Dans le cas d'un échangeur du type de la Fig. 2, il faut en outre réaliser une étanchéité entre le dispositif (Fig. 5) et le collecteur inférieur 6 pour éviter de

remplir par effet de vases communicants d'autres tubes que celui sur lequel on désire opérer. Cette précaution est facultative dans le cas de l'échangeur de la Fig. 1 sous réserve que les collecteurs 6 et 7 soient sensiblement dans un même plan horizontal. S'il n'en est pas ainsi, et
5 pour l'échangeur de la Fig. 2, il est avantageux pour réaliser cette étanchéité d'utiliser le dispositif de diaphragme de stabilité 8 dont est généralement muni le tube à l'entrée. On remplace alors le diaphragme habituel par un opercule plein. Si ce dispositif n'est pas naturellement prévu pour jouer ce rôle, il faudra mettre en place un tel système qui
10 pourra être avantageusement conçu alors pour remplir les trois fonctions de diaphragme pour l'amortissement des instabilités hydrodynamiques de l'échangeur, de dispositif d'étanchéité en direction du collecteur 6, et d'embout permettant l'injection du fluide traceur.

Cette opération faite, on augmente la pression du gaz neutre dans l'échangeur jusqu'à une valeur telle que pour la température isotherme à
15 laquelle on a porté préalablement le sodium, l'eau reste à l'état liquide après injection. Pour éviter des chocs thermiques néfastes, pendant l'injection, on aura soin de porter l'eau du réservoir de la Fig. 3 à cette même température. On réunit ensuite chacun des tubes du lot successivement
20 au réservoir 10, en alimentant ces tubes par l'eau déminéralisée de ce réservoir. Le contrôle du transvasement de l'eau dans le tube considéré peut être effectué à l'aide du niveau 13.

Dans une variante offrant une sécurité absolue quant au risque de faire déborder le tube en cours de remplissage dans ses voisins, le
25 volume utile du réservoir (Fig. 3) est juste suffisant pour remplir un tube. Lorsque le tube ainsi connecté comporte la fuite, la détection de celle-ci s'effectue immédiatement par constatation de la présence d'hydrogène, due au passage de l'eau déminéralisée dans le sodium à travers cette fuite. Le tube fautif étant ainsi repéré, il suffit d'effectuer son tamponnage, c'est-
30 à-dire son bouchage, notamment à l'extérieur des collecteurs d'extrémité 6 et 7. On peut alors remettre rapidement l'installation en marche normale, seul le tube incriminé étant mis ainsi hors service.

Un cas particulier doit par ailleurs être envisagé lorsque l'accès aux différents tubes de l'échangeur ne peut pas s'effectuer sans
35 mettre le circuit de vapeur à l'atmosphère ; c'est le cas notamment où ces tubes 5 débouchent à travers deux plaques frontales 40 et 41 prévues sur la cuve de la manière illustrée sur la Fig. 6. Une variante du procédé

décrit plus haut permet alors de traiter ce cas : après décompression complète du circuit vapeur et dégagement des plaques frontales 40 et 41, ce qui a pour inconvénient la mise à l'atmosphère du circuit de la vapeur, mais cependant de manière très limitée, on adapte à l'une des extrémités des tubes 5 un bouchon étanche 42 tandis que l'on relie l'autre extrémité soit à un réservoir du type de la Fig. 3, soit à un réservoir 43 comportant un manomètre 44 et un détendeur 45 et permettant l'admission directe d'hydrogène dans le tube considéré. La détection d'hydrogène dans le sodium est alors effectuée comme dans le cas précédent, la suite des opérations étant identique . A noter que l'intérêt d'utiliser l'hydrogène plutôt que l'eau, résulte du fait que l'on peut, dans ce cas, opérer sous plus faible pression et également à plus faible température que dans la variante précédente dans laquelle le fluide traceur est de l'eau liquide. On diminue ainsi la diffusion normale de l'hydrogène à travers les tubes de l'échangeur et on améliore dans une certaine mesure la sensibilité de la détection de la microfuite recherchée.

Bien entendu, il va de soi que l'invention n'est nullement limitée aux exemples décrits et représentés ; elle en embrasse au contraire toutes les variantes.

REVENDEICATIONS

1°) Procédé de repérage d'une microfuite de vapeur dans un échangeur de chaleur à tubes de circulation baignés totalement ou en partie par du sodium liquide, caractérisé en ce qu'il consiste, dans un premier temps, à
5 détecter la fuite en évaluant son débit pour la considérer, le cas échéant, comme une microfuite, dans le même temps ou dans un second temps à repérer parmi l'ensemble des tubes de l'échangeur et par une méthode en elle-même connue, un lot donné de tubes contenant celui qui présente la fuite sans modification du régime de fonctionnement de l'installation, puis
10 dans un dernier temps, à sélectionner parmi ce lot le tube présentant la fuite, et enfin à tamponner ce tube à l'extérieur de la cuve sans vider celle-ci du sodium qu'elle contient et dans le meilleur cas, sans mettre à l'atmosphère les tubes de circulation de vapeur.

2°) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la
15 méthode de repérage du lot de tubes contenant le tube présentant la fuite, consiste à doser l'hydrogène dans le sodium, notamment par "membrane diffusante" et spectrométrie de masse.

3°) Procédé selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la sélection du tube présentant la fuite parmi le lot de tubes préalablement repéré, consiste, après amenée de l'échangeur à une température isotherme où la puissance calorifique échangée est sensiblement nulle et après décompression de la vapeur dans les tubes de circulation, à raccorder
20 successivement chaque tube du lot à un réservoir de fluide hydrogéné, ce fluide étant introduit sous pression convenable dans les tubes, puis à détecter l'hydrogène dans le sodium notamment par la méthode de repérage connue, permettant de déduire la position du tube incriminé.
25

4°) Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que, avant mise sous pression du fluide hydrogéné des tubes de circulation, ceux-ci sont placés sous une pression convenable d'un gaz inerte tel que l'argon ou
30 l'azote.

5°) Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte un réservoir extérieur contenant une quantité convenable de fluide hydrogéné et comprenant des moyens pour amener ce fluide à pression et température
35 données et éventuellement contrôler la masse de fluide introduite.

6°) Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que le fluide hydrogéné est constitué par de l'eau déminéralisée et dégazée ou de la vapeur d'eau.

7°) Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que le réservoir comporte une canalisation de sortie apte à être raccordée sur chacun des tubes du lot de tubes préalablement repéré, par l'intermédiaire d'un orifice prévu dans la paroi latérale de chaque tube et d'un raccord amovible comprenant un clapet anti-retour et éventuellement un dispositif d'obturation temporaire du tube.

8°) Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que la canalisation de sortie du réservoir est raccordée en parallèle à une conduite d'amenée du gaz inerte sous pression, permettant en outre d'équilibrer les pressions avant transvasement, et également, d'introduire le fluide à l'état liquide ou vapeur.

9°) Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que le réservoir de fluide est constitué par une bouteille d'hydrogène comprimé dont la sortie est connectée à une canalisation se raccordant à chacun des tubes du lot de tubes préalablement repéré, à travers une plaque frontale prévue dans la paroi de la cuve de l'échangeur, l'autre extrémité du tube débouchant à travers une seconde plaque frontale obturée d'un bouchon étanche ou analogue.

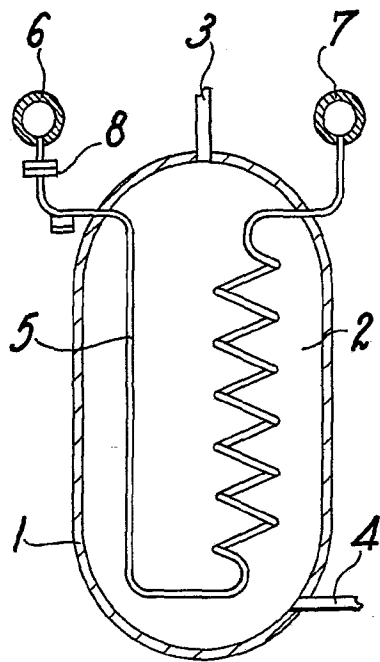


FIG. 1

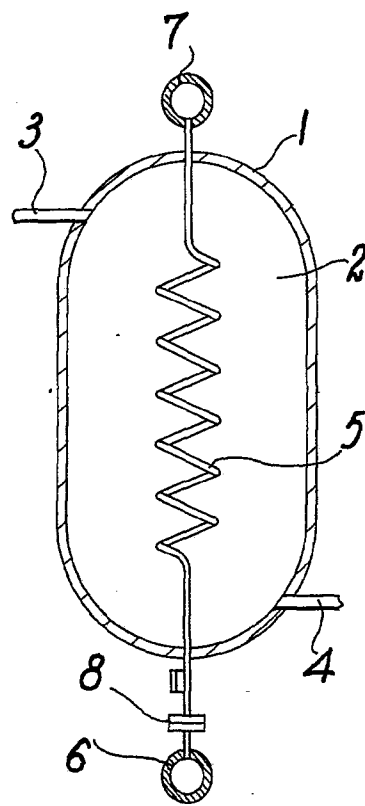


FIG. 2

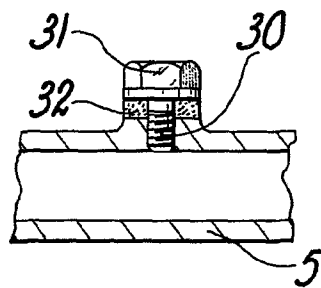


FIG. 4

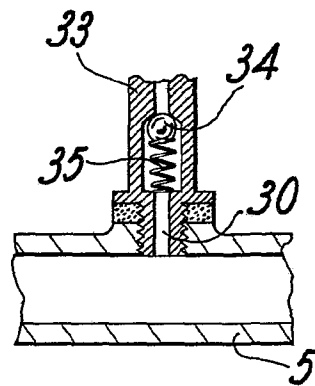


FIG. 5

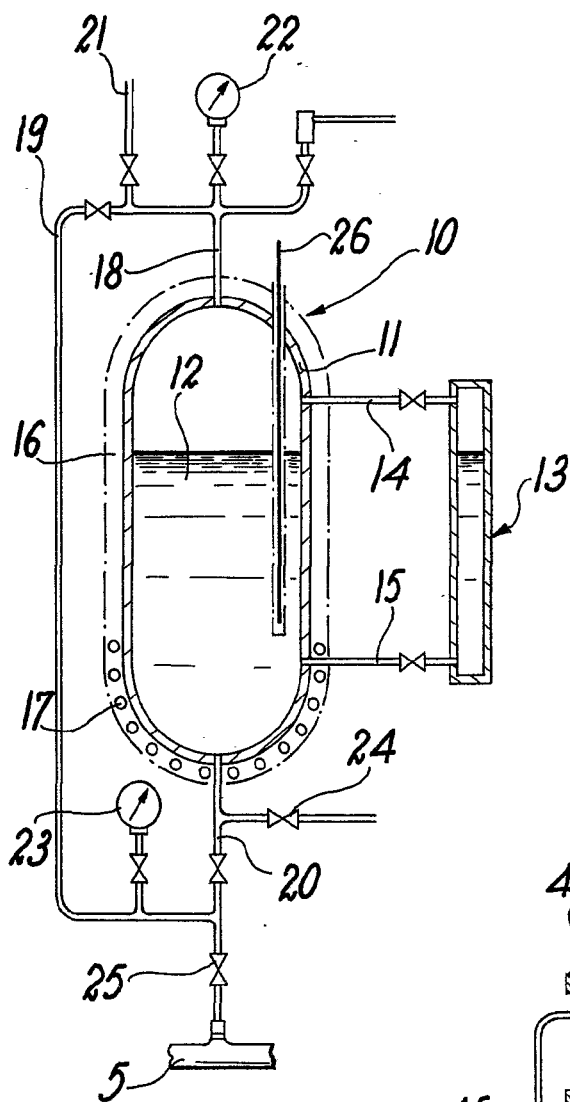


FIG. 3

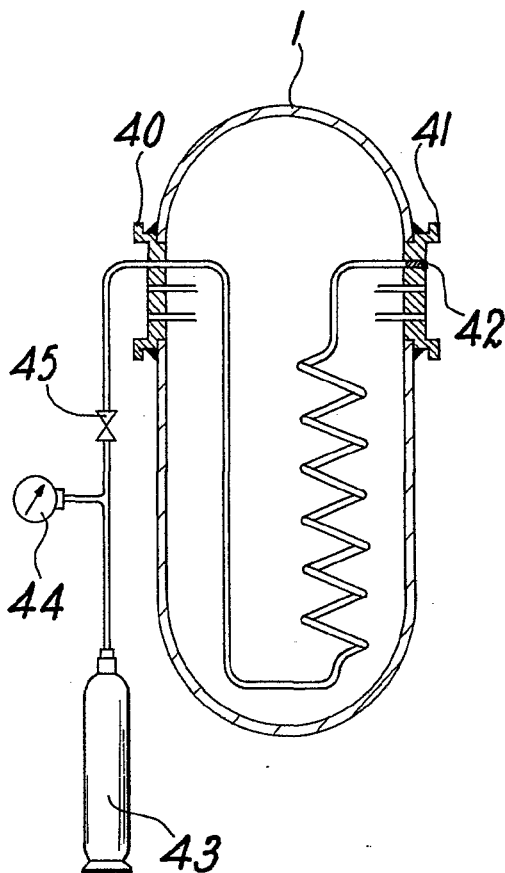


FIG. 6