

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 155 444

21 N° d'enregistrement national : 24 02915

51 Int Cl⁸ : B 23 K 31/02 (2024.01), B 23 K 101/06, B 23 Q 11/10

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.03.24.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.05.25 Bulletin 25/21.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés : Division demandée le 22/03/24 bénéficiant de la date de dépôt du 21/11/23 de la demande initiale n° 2312788.

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : ITP SA SA à conseil d'administration — FR.

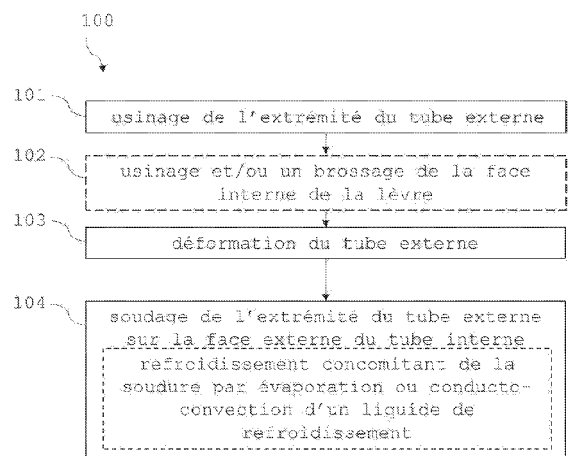
72 Inventeur(s) : GEERTSEN Christian et NADJARI Mehdi.

73 Titulaire(s) : ITP SA SA à conseil d'administration.

74 Mandataire(s) : CABINET CELANIE.

54 Procédé et dispositifs pour améliorer la productivité du soudage de deux tuyaux métalliques concentriques.

57 Procédé de soudage de l'extrémité (23) d'un tube externe (2) métallique sur un tube interne (1) métallique concentriques, le tube (2) comprenant une face interne (21), une face externe (22) et au moins une face latérale (24), le tube (1) comprenant une face interne (12) et une face externe (11) et présentant un diamètre inférieur au diamètre du tube externe (2), qui comprend les étapes suivantes: usinage (101) de l'extrémité (23) du tube (2) de façon à créer sur la face latérale (24) du tube (2) une lèvres (25) prolongeant la face interne (21) du tube (2) et présentant une épaisseur (e) inférieure à l'épaisseur (E) du tube (2), déformation (103) du tube (2) de façon à réduire la distance entre la lèvres (25) et la face externe (11) du tube (1), et soudage (104) de l'extrémité (23) du tube (2) sur la face externe (11) du tube (1).
Figure 6



FR 3 155 444 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé et dispositifs pour améliorer la productivité du soudage de deux tuyaux métalliques concentriques

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] Le secteur technique de la présente invention concerne un procédé de soudage de deux tubes agencés de manière concentrique et plus particulièrement de l'extrémité d'un tube externe sur un tube interne.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Dans le secteur pétrolier, on utilise depuis plusieurs décennies des conduites à double enveloppe calorifugées pour minimiser leurs échanges thermiques avec l'environnement. Elles sont formées par l'assemblage successif par soudure de sections de tubes à double enveloppe de longueur comprise entre 6 mètres et 50 mètres. Il s'agit de réduire le transfert de chaleur entre un fluide chaud ou froid circulant dans ladite conduite et l'environnement extérieur.

[0003] Les applications sont souvent pétrolières, mais peuvent concerner aussi d'autres domaines comme par exemple le transport de l'air très chaud dans le domaine de l'énergie solaire à concentration, des huiles végétales ou des fluides cryogéniques comme l'ammoniac liquéfié, le Gaz Naturel Liquéfié (GNL) ou l'hydrogène liquéfié.

[0004] Les conduites se présentent sous la forme de tuyaux à double enveloppe comprenant un tube externe soudé à ses extrémités sur un tube interne. Cette configuration délimite un espace annulaire scellé dans lequel il est possible de réduire la pression afin d'optimiser la performance thermique de l'isolation et de protéger mécaniquement le système d'isolation thermique de l'environnement extérieur (humidité, pression, agressions mécaniques). Une telle configuration « Pipe-in-Pipe » selon la terminologie anglo-saxonne consacrée se retrouve également dans les conduites triple enveloppe, constituées de trois tubes agencés l'un dans l'autre, ou encore dans des pièces destinées à assurer l'isolation thermique ou l'étanchéité des conduites.

[0005] La fermeture de cet espace annulaire est parfois réalisée en rabattant par déformation plastique le tube extérieur sur le tube intérieur tout en respectant des contraintes géométriques telles que le jeu de soudure pour ensuite souder les deux tubes.

[0006] Suivant l'épaisseur du tube externe, généralement de 4 mm à 30 mm, le nombre de passes de soudure est compris entre 3 et 20. Ce nombre dépend aussi du procédé de soudage, de l'inclinaison de la pièce à souder, de la mise en rotation ou non de la pièce lors du soudage et de la taille de la gorge de la soudure.

[0007] La solution industrielle représentée par ledit procédé de soudage doit répondre conjointement à des critères et contraintes techniques et économiques.

- [0008] La réalisation d'une soudure structurellement saine entre les deux tubes et qui minimise les risques de rupture par fatigue nécessite en particulier que la première passe vienne fondre le coin inférieur, ou racine, du tube externe.
- [0009] Si la racine n'est pas fondue, il en résulte une forme géométrique qui provoque une augmentation locale du niveau de contrainte lors des sollicitations mécaniques et donc par une diminution du nombre de cycles de contraintes à rupture. Quand l'alliage s'y prête, ce type de défaut est en général décelé par des méthodes d'inspection aux ultrasons qui détectent un écho anormal en provenance de la racine conduisant à la réjection de la soudure.
- [0010] La réalisation doit également être économiquement satisfaisante, cela implique notamment un temps de soudage limité (en déposant une quantité élevée de soudure) tout en minimisant le risque de défauts conduisant à une réparation des soudures.
- [0011] Dans le cas de la soudure de fermeture d'espaces annulaires des systèmes « Pipe-in-pipe », le métal fondu est déposé sur une surface convexe (le tube intérieur), souvent en rotation : on comprend donc que l'augmentation inconsidérée du taux de dépôt (et donc de la puissance de soudage) conduit à l'extension du bain de soudure au point où celui-ci pourrait couler notamment sur le pourtour du tube avant de se solidifier. Cela conduit à des défauts, une perte de matière première et une moindre efficacité de la soudure.
- [0012] En outre, chaque passe de soudure accomplie conduit à une augmentation de la température de la pièce à souder rendant nécessaire des phases d'arrêt de la soudure pour permettre le refroidissement et ainsi éviter de rendre le bain incontrôlable du fait de cette augmentation trop importante de sa température. Les spécifications des procédés de soudage comportent aussi généralement une limitation de la température inter-passe maximale qu'il convient de respecter.
- [0013] Ces phases d'arrêt nuisent à la productivité générale du procédé d'assemblage, et contribuent du fait de la multiplication d'arrêt et de redémarrage de la soudure, à la multiplication du risque de défauts.
- [0014] Réaliser ce type de soudure de manière fiable et répétable en procédé manuel requiert des soudeurs habiles et hautement qualifiés. En procédé mécanisé ou automatique, cela requiert une maîtrise poussée de multiples variables et paramètres, tels que, par exemple, le positionnement de la torche de soudage, la vitesse de rotation du tube, la vitesse d'avancée du fil d'apport, la tension électrique, l'intensité, etc.
- [0015] Même sans tenir en compte de la dextérité des soudeurs, certaines conditions de soudage restent difficilement maîtrisables et sont autant de sources d'apparition de défauts, ce sont par exemple :
- un manque de pénétration ou un effondrement du bain de soudure vers l'intérieur l'espace annulaire compris entre les tuyaux intérieur et extérieur, à

- cause d'un jeu de soudure non constant (trop grand ou trop petit),
- une pénétration axiale de la soudure variable en fonction du jeu de soudure conduisant à l'apparition de faux positifs à l'inspection aux ultrasons, et
- l'enfermement d'oxydes sous une passe de soudure bougeant de manière incontrôlée,
- des conditions thermiques variables agissant sur le bain de fusion ; en effet selon l'écartement variable du jeu de soudure et de la position de la torche de soudage par rapport à la racine, la propagation thermique dans le tube externe varie et conduit à des conditions de solidification variables et non maîtrisables.

[0016] Ces paramètres sont d'autant plus difficiles à maîtriser que le tube est petit et donc convexe, par conséquent propice à l'écoulement d'un bain de soudure étalé que l'on obtient également par ailleurs quand on cherche à augmenter la productivité.

[0017] Cette variabilité des conditions joue négativement dans la recherche d'un jeu de paramètres permettant de réaliser des soudures acceptables.

[0018] L'objectif de la présente invention est de fournir un procédé de soudage de deux tubes agencés l'un dans l'autre de manière concentrique permettant de remédier aux inconvénients précités.

Exposé de l'invention

[0019] L'invention concerne donc, dans son premier objet, un procédé de soudage de l'extrémité d'un tube externe métallique sur un tube interne métallique, le tube externe et le tube interne étant agencés l'un dans l'autre de manière concentrique, le tube externe comprenant une face interne, une face externe et au moins une face latérale, le tube interne comprenant une face interne et une face externe et présentant un diamètre inférieur au diamètre du tube externe, caractérisé en ce que ledit procédé comprend :

- une étape d'usinage de l'extrémité du tube externe de façon à créer sur la face latérale du tube externe une lèvre prolongeant la face interne du tube externe et présentant une épaisseur inférieure à l'épaisseur du tube externe,
- une étape de déformation du tube externe de façon à réduire la distance entre la lèvre et la face externe du tube interne, et
- une étape de soudage de l'extrémité du tube externe sur la face externe du tube interne.

[0020] Selon un mode de réalisation du procédé de l'invention, on réalise, après l'étape d'usinage de l'extrémité du tube externe et avant l'étape de déformation du tube externe, un usinage et/ou un brossage de la face interne de la lèvre.

[0021] Selon un autre mode de réalisation du procédé de l'invention, la lèvre présente une épaisseur comprise entre 1 mm et 8 mm.

- [0022] Selon encore un autre mode de réalisation du procédé de l'invention, la lèvre présente une longueur comprise entre 1 mm et 8 mm.
- [0023] Selon encore un autre mode de réalisation du procédé de l'invention, la lèvre présente un rayon de courbure compris entre 1 mm et 4 mm.
- [0024] Selon encore un autre mode de réalisation du procédé de l'invention, à l'issue de l'étape d'usinage, la lèvre forme avec la face latérale du tube externe un angle compris entre 90° et 120°.
- [0025] Selon encore un autre mode de réalisation du procédé de l'invention, à l'issue de l'étape de déformation du tube externe, la distance entre la lèvre et la face externe du tube interne est comprise entre 0 mm et 2 mm. Selon un mode de réalisation particulier, la distance cible préférée entre la lèvre et la face externe du tube interne est de 1 mm, une variation inférieure ou égale à plus ou moins 0,9 mm, plus ou moins 0,7 mm, plus moins 0,5 mm, voire plus ou moins 0,3 mm, pouvant être admise.
- [0026] Selon encore un autre mode de réalisation du procédé de l'invention, l'étape de soudage est réalisée en fondant la lèvre de sorte que le bain de fusion résultant de la fusion de la lèvre mouille le tube externe et le tube interne.
- [0027] Selon un mode de réalisation du procédé de l'invention, l'étape de soudage comprend le refroidissement concomitant de la soudure. Selon un mode de réalisation particulier du procédé de l'invention la soudure est refroidie par évaporation ou conducto-convection d'un liquide de refroidissement, préférentiellement de l'eau, en contact avec la face envers de la soudure, c'est-à-dire sur la face interne du tube interne au niveau de la zone de soudure.
- [0028] Un tout premier avantage du procédé selon l'invention est qu'il permet de fiabiliser la soudure entre le tube externe et le tube interne.
- [0029] Un autre avantage du procédé selon l'invention est qu'il permet de diminuer les risques de manque de fusion du coin intérieur du tube extérieur puisque celui-ci est remplacé par la lèvre, et puisque la lèvre est métallurgiquement liée au tube externe. Cette liaison était dans l'art jusqu'à présent assurée par la première passe de soudage qui présentait un risque de mauvaise exécution. Cette configuration permet donc à la fois de gagner en fiabilité du procédé de soudure et en productivité.
- [0030] Un autre avantage encore du procédé selon l'invention est qu'il permet de maîtriser le jeu de soudure entre la lèvre et le tube interne puisque la lèvre peut se conformer aux irrégularités de forme du tube intérieur.
- [0031] Un autre avantage encore du procédé selon l'invention est qu'il permet de maîtriser la quantité d'énergie fournie au tube externe pour la soudure ce qui contribue à contrôler le risque d'extension du bain de fusion.
- [0032] Ce contrôle est particulièrement amélioré par le refroidissement du tube interne par sa face interne concomitamment à la soudure.

- [0033] En outre, le refroidissement concomitant à la soudure permet de diminuer les risques d'enfermer des oxydes sous la première passe de soudure, et ainsi d'éliminer des raisons de rejet de la soudure.
- [0034] Un autre avantage encore du procédé selon l'invention est que le bain de fusion se retrouve dans un environnement thermique plus stable, l'écartement du jeu de soudure et de la position de la torche de soudage par rapport à la racine étant moins sujet à variabilité.
- [0035] Un autre avantage encore du procédé selon l'invention est qu'il permet de mieux contrôler la pénétration de la soudure pendant la solidification.
- [0036] Un avantage particulier du refroidissement effectué optionnellement à la troisième étape du procédé de l'invention est qu'il permet de réduire la température interpasse et donc d'accumuler plus de passes sans besoin d'interrompre la soudure du fait de la montée en température du tube.
- [0037] Un autre avantage particulier du procédé intégrant le refroidissement effectué à la troisième étape du procédé de l'invention est qu'il permet de souder avec plus de puissance (et donc d'obtenir un taux de dépôt de métal fondu plus élevé, c'est-à-dire une soudure plus rapide) puisqu'on peut efficacement retirer de l'énergie par le refroidissement. Ce procédé permet donc de souder avec des techniques très énergétiques (soudure sous flux) également sur des tubes de faible diamètre, en particulier d'un diamètre inférieur 350 mm, de préférence inférieur à 300 mm, voire même inférieur à 250 mm.
- [0038] Un autre avantage encore du procédé selon l'invention est qu'il permet d'augmenter l'amplitude de l'intervalle possible des intensités de soudage acceptables, ce qui traduit un procédé plus robuste, c'est-à-dire plus tolérant aux écarts de contrôle, permettant une qualité contrôlée de la soudure.
- [0039] Un autre avantage du procédé selon l'invention est qu'il permet de diminuer l'intensité thermique auquel est exposé l'opérateur, ce qui facilite le travail de celui dans la mise en œuvre de la soudure.
- [0040] Dans son second objet, l'invention concerne également un tube externe métallique destiné à une conduite double enveloppe, ledit tube externe comprenant une face interne, une face externe et au moins une face latérale située à l'extrémité dudit tube externe, l'extrémité étant apte à être soudée sur le tube interne métallique de façon à former ladite conduite à double enveloppe, ledit tube interne comprenant une face interne et une face externe et présentant un diamètre inférieur au diamètre du tube externe, caractérisé en ce que le tube externe comprend une lèvre située sur la face latérale, prolongeant la face interne du tube externe et présentant une épaisseur inférieure à l'épaisseur du tube externe.
- [0041] Avantagement, la lèvre présente une épaisseur comprise entre 1 mm et 8 mm, une

longueur comprise entre 1 mm et 8 mm, un rayon de courbure compris entre 1 mm et 4 mm et forme un angle compris entre 90° et 120° avec la face latérale du tube externe.

[0042] Un troisième objet de l'invention concerne un dispositif de refroidissement de la zone de soudure lors du soudage de l'extrémité d'un tube externe métallique sur un tube interne métallique, ledit dispositif comprenant des moyens de refroidissement aptes à refroidir la zone de soudure par mise en contact d'un liquide de refroidissement, préférentiellement de l'eau, avec la face interne du tube interne. Dans un mode de réalisation ces moyens de refroidissement permettent un refroidissement par évaporation ou conducto-convection du liquide de refroidissement. Comme exposé précédemment, le procédé de soudage de l'extrémité d'un tube externe métallique sur un tube interne métallique, quand il comprend le refroidissement par la face interne du tube interne de la zone de soudure, amplifie singulièrement les gains de productivité, et permet d'obtenir des soudures résistant mieux à la propagation de fissures, notamment à basse température.

[0043] Dans un mode de réalisation particulier, le dispositif de refroidissement est un dispositif de refroidissement par conducto-convection qui comprend :

- un bouchon destiné à être inséré dans le tube interne, ledit bouchon comprenant :
 - deux joues adaptées pour obturer le tube interne, lesdites joues, quand ledit dispositif est inséré dans le tube interne, définissant ainsi avec la paroi du tube interne un compartiment dans lequel le liquide de refroidissement est introduit,
 - au moins un axe sur lequel les joues sont fixées,
- un système de mise en circulation du liquide de refroidissement dans le compartiment.

[0044] Dans un autre mode de réalisation particulier, le dispositif est un dispositif de refroidissement par évaporation qui comprend :

[0045] • un bouchon destiné à être inséré dans le tube interne, le bouchon comprenant :

[0046] - deux joues adaptées pour obturer le tube interne, lesdites joues, quand ledit dispositif est inséré dans le tube interne, définissant ainsi, avec la paroi du tube interne, un compartiment dans lequel le liquide de refroidissement est introduit,

[0047] - au moins un axe sur lequel les joues sont fixées,

[0048] - au moins un moyen d'aspersion d'un liquide de refroidissement sur la face envers de la soudure, c'est-à-dire sur la face interne du tube interne au niveau de la soudure, à l'intérieur du compartiment formé par le bouchon,

[0049] - au moins un moyen d'extraction, en dehors du compartiment formé par le bouchon, de la vapeur formée par le liquide de refroidissement au contact de la face envers de la soudure, lors de la réalisation de celle-ci,

- [0050] • un système connecté fluidiquement au moyen d'extraction de la vapeur qui permet l'aspiration de la vapeur à l'extérieur du compartiment formé par le bouchon.
- [0051] Dans un autre mode de réalisation, le dispositif de refroidissement est un dispositif de refroidissement par évaporation qui comprend :
- Un bouchon destiné à être inséré dans le tube interne, le bouchon comprenant : une joue adaptée pour obturer le tube interne 1, ladite joue quand le dit dispositif est inséré dans le tube interne, définissant ainsi, avec la paroi du tube interne, une section du tube interne dans laquelle le liquide de refroidissement est introduit,
 - au moins un moyen d'aspersion d'un liquide de refroidissement sur la face envers de la soudure, c'est-à-dire sur la face interne du tube interne au niveau de la soudure, à l'intérieur de la section du tube interne définie par la joue.
- [0052] Un quatrième objet de l'invention est également les bouchons des dispositifs de refroidissement susmentionnés adaptés à mettre en œuvre le refroidissement du tube interne par évaporation ou par conducto-convection.

Brève description des dessins

- [0053] D'autres caractéristiques, avantages et détails de l'invention seront mieux compris à la lecture du complément de description qui va suivre en rapport avec les dessins dans lesquels :
- [0054] [Fig.1] représente un exemple d'une section de profil du tube interne et du tube externe à l'issue de l'étape d'usinage de l'extrémité du tube externe du procédé,
- [0055] [Fig.2] représente des exemples de différents usinages de l'extrémité du tube externe,
- [0056] [Fig.3] représente un mode de réalisation de la lèvre,
- [0057] [Fig.4] représente un exemple schématique d'une section de profil du tube interne et du tube externe à l'issue de l'étape de déformation du procédé,
- [0058] [Fig.5] représente un exemple schématique d'une section de profil du tube interne et du tube externe à l'issue l'étape de soudage du procédé selon l'invention,
- [0059] [Fig.6] est un diagramme représentant un procédé selon l'invention,
- [0060] [Fig.7] montre les performances des soudures obtenues selon un procédé de l'invention. A, test de Charpy ; B, mesure de la dureté Vickers,
- [0061] [Fig.8] montre un mode de réalisation d'un dispositif de refroidissement par conducto-convection de la face interne du tube interne en opération au niveau de la soudure de l'extrémité d'un tube externe sur la paroi externe d'un tube interne,
- [0062] [Fig.9] montre un mode de réalisation d'un dispositif de refroidissement par évaporation de la face interne du tube interne en opération au niveau de la soudure de l'extrémité d'un tube externe sur la paroi externe d'un tube interne.
- [0063] [Fig.10] montre une photographie d'une coupe polie de profil de la jonction entre le

tube extérieur et le tube intérieur avant soudage telle qu'elle peut être obtenue à l'issue de l'étape de déformation du procédé selon l'invention.

[0064] **DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION DE L'INVENTION**

[0065] Il est précisé que lorsque des intervalles de mesures de grandeurs physiques sont spécifiés dans ce document, ils s'entendent bornes comprises, sauf spécification contraire.

Procédé de soudage

[0066] Comme décrit précédemment, un objet de l'invention concerne un procédé 100 tel qu'illustré à la [Fig.6] de soudage d'un tube externe 2 métallique sur un tube interne 1 métallique disposés l'un dans l'autre de manière concentrique. Le procédé 100 selon l'invention permet par exemple de réaliser une soudure de l'extrémité 23 d'un tube externe 2 sur un tube interne 1 de façon à former une conduite double enveloppe de transport de fluide. La conduite formée présente alors un espace annulaire 3 scellé entre le tube externe 2 et le tube interne 1. Bien évidemment, le procédé 100 de soudage selon l'invention peut s'appliquer à tout élément présentant d'un tube externe 2 métallique sur un tube interne 1 métallique disposés l'un dans l'autre de manière concentrique, quelle que soit l'usage de cette structure. En d'autres termes ce procédé 100 de soudage n'est pas restreint dans son application dans lesquelles le tube interne 1 est destiné à véhiculer un fluide.

[0067] Précédemment à la soudure, le tube externe 2 est positionné autour du tube interne 1 de façon à ce que les deux tubes soient concentriques. Concentrique, au sens de l'invention, quand se référant au tube interne 1 et au tube externe 2, s'entend de tubes qui partagent un même centre. Dans le domaine technique de l'invention, la forme des tubes peut varier, en d'autres termes les tubes 1 et/ou 2 peuvent ne pas être parfaitement circulaires. Ainsi, les diamètres et épaisseurs des tubes peuvent varier sur leur longueur de quelques millimètres du fait de la méthode de production. Ainsi, au regard des standards de l'industrie, des tubes sont considérés acceptables si des variations diamétrales de l'ordre de 1%, de préférence inférieure ou égale à 1% et des variations d'épaisseur de inférieures ou égales à 10% de préférence inférieures ou égales à 5% sont observées. La personne du métier saura que la notion de concentricité autorise un écart à la concentricité géométrique pouvant aller jusque plusieurs mm. Le tube interne 1 présente donc un diamètre inférieur au diamètre du tube externe 2. On comprendra que ce procédé 100 peut s'appliquer à toute conduite comprenant un tube agencé dans un autre tube. Plus particulièrement, cette conduite peut être une conduite dite à double enveloppe (dite Pipe-in-Pipe en terminologie anglosaxonne) telle que précédemment décrite, mais également une conduite à triple enveloppe (Pipe-in-Pipe-in-Pipe, en terminologie anglosaxonne), qui comprend par définition une

conduite dite à double enveloppe entourée d'un tube.

- [0068] Le tube externe 2 comprend une face interne 21 en regard du tube interne 1, une face externe 22 opposée à la face interne 21 et au moins une face latérale 24. La face latérale 24 correspond à l'extrémité 23 du tube externe 2 destinée à être soudée sur le tube interne 1.
- [0069] Le tube interne 1 comprend quant à lui une face externe 11 située en regard du tube externe 2 et une face interne 12 opposée à la face externe 11. La face interne 12 du tube interne 1 délimite ainsi le conduit dans lequel un fluide peut être transporté, mais pas nécessairement.
- [0070] La [Fig.1] représente une section de profil du tube interne 1 et du tube externe 2 disposés l'un dans l'autre de manière concentrique. Ils délimitent entre eux l'espace annulaire 3.
- [0071] Le tube interne 1 comprend une face interne 12 et une face externe 11.
- [0072] Le tube externe 2 est ici représenté usiné à l'issue de l'étape d'usinage 101 de l'extrémité 23 du tube externe 2 du procédé 100. Il comprend une face interne 21, une face externe 22 et une extrémité 23.
- [0073] Dans un mode de réalisation, l'usinage de l'extrémité 23 du tube externe 2 destinée à être soudée sur la face externe 11 du tube interne 1 a lieu sur le site d'implantation de la conduite, au moyen, par exemple d'une machine orbitale d'usinage (en terminologie anglo-saxonne « Pipe Facing Machine », PFM)
- [0074] L'extrémité 23 du tube externe 2 est représentée par une face latérale 24 et une lèvre 25. Elle est destinée à être soudée sur la face externe 11 du tube interne 1 de façon à sceller l'espace annulaire 3.
- [0075] La lèvre 25 est située sur la face latérale 24. Elle prolonge la face interne 21 du tube externe 2. Comme il le sera évoqué ultérieurement, la lèvre 25 est destinée à être fondue à l'étape de soudage 104 du procédé 100 pour permettre le soudage de l'extrémité 23 du tube externe 2 sur le tube interne 1.
- [0076] La lèvre 25 présente une structure permettant de fiabiliser l'étape de soudure. Sa fusion par un procédé manuel de soudage ou par procédé automatisé mécanisé de soudage permet en outre de générer un bain de fusion 26 suffisant pour permettre le mouillage simultané de l'extrémité 23 du tube externe 2 et de la face externe 11 du tube interne 1. Elle présente en outre un volume de matière suffisant pour que la première passe de soudage de l'extrémité 23 assure le contact métallurgique du tube externe 2 sur la face externe 11 du tube interne 1.
- [0077] Pour ce faire, la lèvre 25 présente une épaisseur e inférieure à l'épaisseur E du tube externe 2. L'épaisseur e de la lèvre 25 peut notamment être fonction de l'épaisseur E du tube externe 2. Ainsi, l'épaisseur e de la lèvre 25 peut être comprise entre 5% et 50% de l'épaisseur E du tube externe 2.

- [0078] La [Fig.2] représente différents usinages de l'extrémité 23 du tube externe 2 aboutissant à différents modes de réalisation de la lèvre 25.
- [0079] La lèvre 25 présente par exemple une épaisseur e comprise entre 1 mm et 8 mm. De façon préférentielle, l'épaisseur e est comprise entre 2 mm et 4 mm.
- [0080] La lèvre 25 est également usinée de façon à présenter une longueur L correspondante à la distance entre la face latérale 24 et l'extrémité libre de la lèvre 25. La longueur L est par exemple comprise entre 1 mm et 8 mm. De façon préférentielle, la longueur L est comprise entre 2 mm et 4 mm. La lèvre 25, de par sa longueur L , est ainsi rendue plus accessible pour être fondue ce qui diminue les risques de manque de fusion au coin intérieur qui apparaîtrait en son absence sur la face latérale 24.
- [0081] La lèvre 25 est également usinée de façon à présenter un rayon de courbure R avec la face latérale 24. Le rayon de courbure R est par exemple compris entre 1 mm et 4 mm. De façon préférentielle, le rayon de courbure R est compris entre 2 mm et 3 mm. Le rayon de courbure R assure une transition entre la face latérale 24 et la lèvre 25 qui ne favorise pas l'enfermement d'oxydes dans le bain de fusion 26.
- [0082] La lèvre 25 est également usinée de façon à former un angle a avec la face latérale 24. L'angle a est par exemple compris entre 90° et 120° . De façon préférentielle l'angle a est compris entre 90° et 105° .
- [0083] Ainsi, la lèvre 25 peut adopter une configuration dite en J dans laquelle l'angle a est égal à 90° .
- [0084] La lèvre 25 peut également adopter une configuration dite en demi V dans laquelle l'angle a est compris entre 91° et 135° .
- [0085] La lèvre 25 peut également adopter une configuration dite en triangle ou en trapèze; dans ce mode de réalisation, la lèvre 25 ne prolonge pas la face interne 21 du tube externe 2 mais constitue une protubérance triangulaire ou trapézoïdale à l'extrémité 23 du tube externe 2.
- [0086] D'autres géométries de chanfrein (face latérale 24) proches permettant d'éliminer le coin intérieur en retrait du tube extérieur 2 seront reconnues par la personne du métier.
- [0087] Ces différentes configurations d'usinage de l'extrémité 23 du tube externe 2 permettent notamment d'optimiser le soudage ultérieur en fonction de paramètres comme l'épaisseur E du tube externe 2, l'épaisseur du tube interne 1, le matériau constituant le tube externe 2 et le tube interne 1, le jeu de soudure, la technique de soudage ou encore les moyens utilisés pour la fusion de la lèvre 25.
- [0088] La [Fig.3] représente un mode de réalisation de la lèvre 25 après une étape éventuelle comprenant un usinage et/ou brossage 102 de la face interne de la lèvre 25 avant une étape de déformation 103. Cette étape éventuelle permet d'usiner et/ou brosser la face intérieure de la lèvre 25 de façon à améliorer ses propriétés de mouillage vis-à-vis du bain de fusion 26.

- [0089] La [Fig.4] représente le tube interne 1 et le tube externe 2 usiné à l'issue de l'étape de déformation 103. Cette étape consiste notamment à effectuer une déformation du tube externe 2 de façon à réduire la distance entre la lèvre 25 et la face externe 11 de tube interne 1. Cette étape 103 est communément appelée étape de « croquage » car on vient croquer le tube interne 1 sur le tube externe 2.
- [0090] La distance résultant de cette étape correspond au jeu de soudure. Elle correspond à la distance que la première passe de soudage doit combler.
- [0091] Grâce à la configuration particulière de la lèvre 25, le croquage s'effectue au-delà du contact avec le tube interne 1 et conduit à la déformation de la lèvre 25. Après le croquage, le rebond élastique du tube externe 2 conduit à un jeu de soudure inférieur à 1 mm environ.
- [0092] Il est également envisageable d'arriver à un jeu de soudure égal à 0 mm en effectuant un croquage suffisamment puissant pour déformer le tube interne 1 jusqu'à sa limite élastique. Le rebond élastique du tube interne 1 accompagne alors celui du tube externe 2 et la lèvre 25 reste en contact avec le tube interne 1. Cela est illustré par la photographie présentée à la [Fig.10].
- [0093] Ainsi, à l'issue de l'étape 103, la distance entre la lèvre 25 et la face externe 11 du tube interne 1 est comprise entre 0 mm et 2 mm voire entre 0 mm et 1 mm.
- [0094] La configuration particulière de l'extrémité 23 du tube externe 2, de par son usinage et la réalisation de la lèvre 25, permet donc de mieux maîtriser la distance entre la lèvre 25 et le tube interne 1 résultant de la deuxième étape 103. Une maîtrise plus poussée de cette distance sur toute la circonférence du tube interne 1 permet d'améliorer la fiabilité de la soudure ultérieure.
- [0095] La [Fig.5] représente la soudure entre l'extrémité 23 du tube externe 2 et le tube interne 1 réalisée durant l'étape de soudage 104 du procédé 100 selon l'invention.
- [0096] Dans cette configuration particulière de l'extrémité 23 du tube externe 2, l'objectif est de fondre la lèvre 25 afin que le bain de fusion 26 résultant de la fusion de la lèvre 25 vienne mouiller le tube interne 1 et le tube externe 2. La fusion de la lèvre 25 n'étant pas sujette à un positionnement variable du tube interne 1 et du tube externe 2, la quantité d'énergie fournie au tube externe 2 est mieux maîtrisée ce qui assure un environnement thermique plus stable pour le bain de fusion 26.
- [0097] Le risque de manque de fusion du coin inférieur du tuyau externe 2 est grandement diminué car le coin inférieur est éliminé par construction et remplacé par l'extrémité de la lèvre 25 qui est plus accessible.
- [0098] La pénétration de la soudure après solidification est également moins variable puisqu'elle ne dépend plus que des propriétés de viscosité du métal liquide et son interaction avec le tube interne 1 et le tube externe 2 par mouillage.
- [0099] La réalisation d'une soudure saine requiert ainsi une moindre dextérité de la part du

soudeur et peut s'effectuer sur une plage de paramètres de soudage plus large, ce qui rend la soudure plus fiable avec le procédé 100 selon l'invention.

- [0100] Cela reste vrai pour des procédés de soudage automatiques. Les inventeurs ont constaté que la plage de réglage des paramètres d'intensité et de voltage permettant de réaliser une soudure sans défaut est plus grande dans le cas de soudures avec une lèvre 25 usinée selon le procédé 100 selon l'invention.
- [0101] A titre d'exemple, sur des tubes de diamètre et d'épaisseur identiques, et avec des paramètres de soudage en tous points identiques excepté l'usinage en forme de lèvre 25 de l'extrémité 23 du tube externe 2, la gamme d'intensité de soudage permettant l'obtention d'une soudure jugée acceptable a été multipliée par plus de 4, passant d'une gamme de 450 ± 30 A à 450 ± 140 A. Ainsi, en utilisant le procédé 100 de soudage selon l'invention, la soudure peut être réalisée à une intensité comprise entre 310 A et 590 A, en fonction des contraintes inhérentes, par exemple, aux matériaux et/ou à la vitesse souhaitée de l'assemblage.
- [0102] L'étape de soudure 104 peut comprendre le refroidissement concomitant à la soudure de la face interne 12 du tube interne 1. Cela permet un gain de productivité du procédé 100 du fait du contrôle de la température de la zone de soudure qui concoure à une augmentation de la vitesse de la soudure et de la qualité de celle-ci pour les raisons susmentionnées. Le refroidissement est opéré par évaporation ou conducto-convection d'un liquide de refroidissement. Le liquide de refroidissement peut être sélectionné parmi : de l'eau, un mélange eau + glycol, un mélange eau + alcool. La personne du métier saura déterminer quel est le liquide le plus adapté, et dans le cas d'un liquide de refroidissement constitué d'un mélange eau + glycol ou eau + alcool, les proportions de glycol ou d'alcool à considérer. L'eau est un liquide de refroidissement particulièrement préféré. L'évaporation consiste en la projection (ou la vaporisation) de gouttelettes du liquide de refroidissement de liquide de refroidissement sur la face interne 12 du tube interne 1 qui s'évaporent au contact de celle-ci, l'échange de calories a pour conséquence la baisse de température du tube interne 1, notamment à la zone de soudure. Lors du refroidissement par conducto-convection le transfert de chaleur qui se fait par contact direct la face interne 12 du tube interne 1 et le liquide de refroidissement (conduction). La chaleur se transfère alors par déplacement des molécules lors changement local de température du liquide de refroidissement (convection).
- [0103] Ce refroidissement a lieu pendant la plus grande partie du de l'étape de soudure 104. Il peut avoir lieu sur toute la durée de l'étape de soudure 104. Il peut avoir sur toute la durée du procédé 100 selon l'invention. La durée ou l'initiation et/ou l'arrêt du refroidissement peut varier selon le mode de refroidissement choisi tel que l'évaporation ou la conducto-convection. Dans le mode particulier de refroidissement par évaporation, par exemple, il est bien entendu que l'aspersion n'est opérée qu'à partir du moment où

la température de la zone de soudure est suffisante pour permettre l'évaporation du liquide de refroidissement projeté sous forme de gouttelettes au contact de la zone de soudures.

[0104] Dans un mode de réalisation préféré, le refroidissement de la soudure est opéré par aspersion d'un brouillard de gouttelettes d'eau sur la face interne 12 du tube interne 1 favorisant l'évaporation. Le refroidissement par évaporation est particulièrement efficace et rapide.

Tube externe 2 comprenant une lèvre 25

[0105] Un deuxième objet de l'invention vise un tube externe 2 d'une conduite comprenant un tube agencé dans un autre tube comprenant une lèvre 25 située sur sa face latérale 24, ladite lèvre 25 prolongeant sa face interne 21 et présentant une épaisseur e inférieure à l'épaisseur E dudit tube externe 2.

[0106] Avantageusement, la lèvre 25 présente une épaisseur e comprise entre 1 mm et 8 mm, une longueur L comprise entre 1 mm et 8 mm, un rayon de courbure R compris entre 1 mm et 4 mm et forme un angle a compris entre 90° et 120° avec la face latérale 24 du tube externe 2.

[0107] La lèvre 25 est notamment usinée selon les différentes possibilités exposées ci-dessus et illustrées par exemple à la [Fig.2] ou à la [Fig.3], en faisant notamment varier de manière indépendante l'une quelconque des dimensions e , a , L ou R .

[0108] Dispositifs de refroidissement de la zone de soudure et bouchons destinés à obturer le tube interne 1.

[0109] La demanderesse a développé des dispositifs 200 spécialement adaptés à l'étape de refroidissement concomitante et optionnelle à l'étape de soudage 104 de l'extrémité 23 du tube externe 2 sur la face externe 11 du tube interne 1.

[0110] Cette étape de refroidissement par la face interne 12 du tube interne 1 contribue positivement aux gains de productivité du procédé 100. D'une part, le refroidissement ainsi opéré sur la face interne de la soudure permet de s'abstenir des pauses visant au refroidissement du tube et au contrôle de la température du bain de soudure 26 pour éviter à l'extension du bain de soudure 26 et des coulures toujours associées à des défauts menant au rejet de la soudure). En outre le contrôle de la température et son maintien en deçà de 350°C , comme le permettent notamment les dispositifs 200 de refroidissement, selon l'invention permet d'envisager d'utiliser des puissances de soudage plus importantes permettant un gain de temps encore plus important à qualité de soudure égale voire supérieure. D'autre part, et de manière surprenante, le taux de défaut des soudures s'en trouve particulièrement réduit, ce qui conduit à un taux de rejet ou de reprise particulièrement diminués. En outre, le refroidissement de la zone de soudage et par conséquent des tubes, en sus des avantages en termes de productivité, permet de diminuer substantiellement l'intensité du rayonnement thermique

auquel est exposé l'opérateur, ce qui constitue un gain appréciable pour l'ergonomie et du travail.

- [0111] Enfin, de manière tout à fait avantageuse, la mise en œuvre du procédé 100 de l'invention comprenant le refroidissement de la soudure par la face interne 12 du tube interne 1, permet le contrôle des propriétés de dureté et de résistance des soudures (telles qu'illustrées par la [Fig.7]). Il est ainsi possible de déterminer des conditions pour générer des soudures optimales, aux propriétés de dureté et de résilience (résistance) équilibrées.
- [0112] Dans un mode de réalisation particulier, le dispositif 200 de refroidissement est un dispositif de refroidissement par conducto-convection qui comprend :
- Un bouchon 201 destiné à être inséré dans le tube interne 1, le bouchon 201 comprenant :
 - deux joues 202,203 adaptées pour obturer le tube interne 1, lesdites joues 202,203, quand le dit dispositif 200 est inséré dans le tube interne 1, définissant ainsi avec la paroi du tube interne 1 un compartiment 204 dans lequel le liquide de refroidissement est introduit,
 - au moins un axe 205 sur lequel les joues 202,203 sont fixées,
 - un système 207 de mise en circulation du liquide de refroidissement dans le compartiment 204.
- [0113] Dans ce dispositif 200, une des joues 202,203 est percée d'orifices permettant la mise en circulation dans le système 207 de mise en circulation du liquide de refroidissement au travers du compartiment 204 au moyen d'un circuit de tuyauterie. Cette mise en circulation permet d'évacuer le liquide de refroidissement réchauffé dans le compartiment 204 sous l'effet de la soudure en opération, et d'alimenter continuellement le compartiment 204 avec un liquide de refroidissement de température adaptée. Dans un mode de réalisation particulier, ce circuit de tuyauterie peut être raccordé à un réservoir 206 destiné à recevoir le liquide de refroidissement, tel que représenté sur la [Fig.8], le système 207 de mise en circulation du liquide de refroidissement et le réservoir 206 constituant alors un circuit fermé. Dans un autre mode de réalisation particulier, le dispositif 200 peut comprendre une source de liquide de refroidissement connectée en entrée (telle qu'une connexion à un réseau d'eau) au compartiment 204 via une canalisation 208, et une canalisation 211 d'évacuation pour extraire le liquide de refroidissement réchauffé du compartiment 204 (par exemple connectée à un réseau d'eaux usées).
- [0114] Ainsi, le circuit de tuyauterie du système 207 de mise en circulation peut comprendre une canalisation 208 configurée pour amener le liquide de refroidissement froid en entrée vers le compartiment 204. La canalisation 208 peut comprendre au moins une valve 209 qui permet de contrôler la communication entre le compartiment 204 et la

source du liquide de refroidissement (par exemple le réservoir 206). La canalisation 208 peut comprendre également au moins une pompe 210 qui permet générer le flux entrant de liquide de refroidissement dans le compartiment 204.

- [0115] Le circuit de tuyauterie peut comprendre une canalisation 211 configurée pour extraire le liquide de refroidissement réchauffé du compartiment 204, par exemple vers le réservoir 206 ou encore un réseau d'eaux usées tels que mentionnés précédemment. La canalisation 211 peut comprendre également au moins une valve et/ou au moins une pompe pour contribuer à la mise en circulation et au contrôle du flux de liquide de refroidissement.
- [0116] Le réservoir 206 et/ou le système 207 de tuyauterie peut également comprendre des moyens de refroidissement configurés pour accélérer la baisse en température du liquide de refroidissement, par exemple circulant dans la canalisation 211 ou présent dans le réservoir 206 de liquide de refroidissement.
- [0117] Dans un mode de réalisation le bouchon 201 peut comprendre plusieurs axes 205, un axe 205 central permet la fixation des deux joues 202,203, et 3 axes 205 supplémentaires dont 2 sont constitués de tuyaux percés de trous permettant l'entrée de liquide de refroidissement dans le compartiment 204, et un autre axe 205 également percé de trous qui permet la sortie du liquide de refroidissement.
- [0118] Dans un autre mode de réalisation particulier le dispositif 200 de refroidissement est un dispositif de refroidissement par évaporation qui comprend :
- Un bouchon 201 destiné à être inséré dans le tube interne 1, le bouchon 201 comprenant :
 - deux joues 202,203 adaptées pour obturer le tube interne 1, lesdites joues 202,203, quand le dit dispositif 200 est inséré dans le tube interne 1, définissant ainsi, avec la paroi du tube interne 1, un compartiment 204 dans lequel le liquide de refroidissement est introduit,
 - au moins un axe 205 sur lequel les joues 202,203 sont fixées,
 - au moins un moyen d'aspersion 212 d'un liquide de refroidissement sur la face envers de la soudure, c'est-à-dire sur la face interne 12 du tube interne 1 au niveau de la soudure, à l'intérieur du compartiment 204,
 - au moins un moyen d'extraction 213, en dehors du compartiment 204, de la vapeur formée par le liquide de refroidissement au contact de la face envers de la soudure, lors de celle-ci, et permettant le maintien d'une pression dans le compartiment 204 inférieure à la pression ambiante,
 - un système 218 connecté fluidiquement au moyen d'extraction 213 de la vapeur qui permet l'aspiration de la vapeur à l'extérieur du compartiment 204 formé par le bouchon 201.
- [0119] Un mode de réalisation de ce dispositif 200 installé dans le tube interne 1 est présenté

[Fig.9].

[0120] Avantageusement l'au moins un moyen d'aspersion 212 est adapté à créer et projeter sur la face interne 12 du tube interne 1 un nuage de gouttelettes. En effet la pulvérisation (ou brumisation) du liquide de refroidissement sous forme d'un nuage de gouttelettes, en multipliant la surface de contact entre le liquide de refroidissement et ladite face interne 12, permet un refroidissement plus rapide et plus efficace du fait d'une plus grande efficacité d'évaporation.

[0121] Dans un mode de réalisation particulier de ce dispositif 200 de refroidissement par évaporation, l'au moins un moyen d'aspersion 212 est constitué d'au moins une buse 217 placée à l'extrémité d'un tuyau 214 dans lequel circule le liquide de refroidissement et qui permet la dispersion et/ou la pulvérisation du liquide de refroidissement sur la face interne 12 du tube interne 1 au contact de la face envers de la soudure. Le tuyau 214 est fluidiquement connecté à un tuyau 215 lui-même connecté fluidiquement à une alimentation en liquide de refroidissement, par exemple à un réservoir 206 contenant le liquide de refroidissement, tel qu'illustré à la [Fig.9]. Bien évidemment toute autre alimentation en liquide de refroidissement est utilisable, par exemple, dans le cas d'utilisation d'eau comme liquide de refroidissement, une connexion à un réseau d'eau. La connexion fluidique entre l'alimentation en liquide de refroidissement et le tuyau 215 peut comprendre une pompe 219 pour propulser le liquide de refroidissement dans le compartiment 204 au travers de l'au moins une buse 217. Dans un mode de réalisation particulier, le dispositif 200 de refroidissement par évaporation comprend un moyen permettant l'adjonction d'un flux d'air comprimé, ou de tout autre fluide auxiliaire de vaporisation, dans le flux entrant de liquide de refroidissement (par exemple dans le tube 215) ; en effet, l'adjonction d'un fluide auxiliaire de vaporisation peut contribuer efficacement à la formation du nuage ou bouillard de gouttelettes de liquide de refroidissement présentant des gouttelettes plus fines et donc assurer un refroidissement plus efficace et plus rapide. Tout gaz neutre, tel que l'azote, peut également constituer un fluide de vaporisation adapté. La personne du métier saura choisir un fluide auxiliaire de vaporisation adapté aux activités de soudage.

[0122] Dans un mode de réalisation particulier du moyen d'aspersion 212, illustré sur la [Fig.9], plusieurs tuyaux 214 sont connectés fluidiquement au tuyau 215 : permettant l'aspersion du tube interne 1 en plusieurs endroits et ainsi un refroidissement encore plus efficace du tube interne 1. Les tuyaux 214 peuvent être localisés à plusieurs endroits différents le long du tuyau 215, et/ou bien répartis à la circonférence du tuyau 215. Par exemple, deux tuyaux 214 peuvent être connectés fluidiquement au tuyau 215 à la circonférence du tuyau 215, en regard l'un de l'autre, c'est à dire à 180° l'un de l'autre à la circonférence du tuyau 215. Cette configuration permet l'aspersion de la paroi interne 12 du tube interne 1 en deux endroits espacés de 180° et donc assurer une

répartition homogène du liquide de refroidissement ; dans un mode de réalisation encore plus particulier chacun des deux tuyaux 214 comprend une buse 217 à son extrémité adaptée à générer le nuage (ou bouillard) de gouttelettes à proximité de la face interne 12 du tube interne 1.

- [0123] Dans un mode de réalisation particulier, l'au moins un moyen d'extraction 213 au dehors du compartiment 204, de la vapeur formée par le liquide de refroidissement au contact de la face envers de la soudure, est constitué d'un tuyau 216 percé d'une pluralité de trous 220 arrangés sur le tuyau 216. Dans un mode de réalisation particulier au moins une partie de la pluralité de trous 220 est située au droit de la zone d'aspersion, par lesquels la vapeur est aspirée. Dans un mode de réalisation les trous 220 de la pluralité de trous 220 s'étendent tout au long du tuyau 216. Dans un mode de réalisation encore plus particulier, dans le moyen d'extraction 213, le tuyau 216 est fluidiquement connecté à un système 218 qui permet de créer un vide et, ainsi, permet l'aspiration au travers de la pluralité de trous 220 de la vapeur de liquide de refroidissement formée par l'évaporation de celui-ci au contact de la face interne 12 du tube interne 1 dans la zone de soudure et, éventuellement, du fluide auxiliaire de vaporisation. Dans un mode de réalisation, le système 218 permettant de créer un vide et permettant l'aspiration de la vapeur est tel qu'une pompe à vide, par exemple située à l'extérieur du dispositif 200.
- [0124] Dans un mode de réalisation particulier, tel que représenté sur la [Fig.9], l'axe 205 comprend le tuyau 216 et le tuyau 215, les joues 202,203 pouvant être fixées sur le tuyau 216.
- [0125] Le dispositif 200 de refroidissement par évaporation peut comprendre des moyens de mesure de la pression dans le compartiment 204. Le contrôle de la pression dans le compartiment 204 permet d'ajuster la température d'évaporation de l'eau et donc de piloter plus finement la température de la pièce à souder. Optionnellement, ces moyens peuvent commander la pompe à vide 218 et/ou la pompe 219 pour réguler la pression interne au compartiment 204 en fonction d'une consigne. Le dispositif 200 de refroidissement par évaporation peut comprendre des moyens de mesure de la température à l'intérieur du compartiment 204. Optionnellement, ces moyens peuvent commander la pompe à vide (le système 218) et/ou la pompe 219 pour réguler la température interne du compartiment 204 en fonction d'une consigne. En effet la température peut être également pilotée en modifiant le débit d'aspersion.
- [0126] Un système supplémentaire d'évacuation et d'aspiration des fluides peut être associé à ce dispositif 200 afin d'empêcher la recondensation des gaz et vapeurs générés par le refroidissement sur les éléments sensibles de l'appareillage de soudage et des matériaux de soudage (tels que le métal d'apport ou le flux de soudage).
- [0127] Dans un mode de réalisation préféré, tel que représenté sur la [Fig.9], l'axe 205 sur

lequel sont fixées les joues 202,203 comprend le tuyau 215 et le tuyau 216 qui sont solidaires, et les joues 202,203 sont fixées sur le tuyau 216. Comme cela est illustré sur la [Fig.9], dans un mode de réalisation particulier, le tuyau 215, qui est connecté fluidiquement à l'au moins un tuyau 214 amenant le liquide à l'au moins une buse 217, est inséré dans le tuyau 216 du moyen d'extraction 213. Dans un mode de réalisation encore plus particulier, le au moins un tuyau 214 traverse le tuyau 216 par un trou 220 de la pluralité de trous 220, de préférence sans l'obturer.

- [0128] Dans un mode de réalisation, les joues 202,203 sont fixées à l'axe 205 par l'intermédiaire d'une platine 221 (non représentée sur la [Fig.9]) comprenant un moyen d'articulation tel qu'un roulement à billes, ce qui permet la mise en rotation des joues 202,203 (qui en opération du bouchon 201 sont solidaires du tube interne 1) autour de l'axe 205, alors que la buse 217 reste fixe dans l'espace. Cela permet avantageusement le déplacement de la zone d'aspersion à la face envers de la soudure en malgré la rotation de la conduite Pipe in Pipe. Dans un mode de réalisation, l'aspersion à lieu sur la face interne 12 du tube interne 1 à 90°relativement au lieu de soudure sur la face externe 11. Dans un autre mode de réalisation, l'aspersion à lieu sur la face interne 12 du tube interne 1 au droit du lieu de soudure sur la face externe 11.
- [0129] Avantagement un poids peut lester l'axe 205 pour faciliter empêcher sa mise en rotation quand la conduite Pipe in pipe tourne autour de lui. La vitesse de rotation appliquée à l'axe 205 est avantagement réglée de façon à permettre un refroidissement optimal de la zone de soudure. Dans un mode de réalisation, la vitesse de rotation appliquée à l'axe 205 entraîne le déplacement en sens inverse de l'au moins une buse 217 à la même vitesse de déplacement que la soudure.
- [0130] Le bouchon 201 destiné à être inséré dans le tube interne 1 de la conduite permet de créer un compartiment 204 adapté à la mise en œuvre de l'étape de refroidissement concomitante à l'étape de soudage 104 de l'extrémité 23 du tube externe 2 sur la face externe 11 du tube interne 1. Les deux joues 202,203 sont préférentiellement entourées de joints qui assurent une étanchéité à la jonction desdites joues 202,203 avec la face interne 12 du tube interne 1. Ces joints sont, par exemple, constitués de silicone adapté à une utilisation haute température (telle que, par exemple, de 100 à 200°C) et ayant les propriétés de robustesse adaptée aux manœuvres du bouchon 201 et à une fabrication industrielle de série, par exemple de plusieurs milliers de pièces.
- [0131] Il est bien entendu que l'étanchéité du compartiment 204 formé par le bouchon 201 n'a pas à être absolue, notamment du fait de l'état de surface natif des tubes utilisés (par exemple en acier brut) qui peut être irrégulier. Le compartiment 204 formé par le bouchon 201 doit être suffisamment étanche pour permettre la bonne mise en œuvre du refroidissement de la zone de soudage, notamment par évaporation ou conducto-convection tel que décrit précédemment. Ainsi, il peut être admis que du liquide de re-

froidissement puisse perler au travers du bouchon 201, sous réserve que cette fuite permette toujours par exemple, un remplissage du compartiment 204 par le liquide de refroidissement adapté au refroidissement par conducto-convection, ou à la création et au maintien du vide nécessaire à l'évacuation des vapeurs de liquide de refroidissement par le système 218 permettant l'aspiration de la vapeur à l'extérieur du compartiment 204 formé par le bouchon 201. Un bouchon 201 présentant deux joues 202,203 et formant un compartiment 204 quand agencé dans le tube interne 1 permet d'éviter d'exposer l'opérateur à la vapeur formée, éventuellement au fluide auxiliaire de vaporisation et de diminuer l'exposition au bruit de celui-ci. La mise en œuvre d'un tel bouchon 201 pour l'étape de refroidissement est donc particulièrement avantageux pour l'opérateur en termes d'ergonomie du travail.

[0132] Dans un mode de réalisation, moins préféré, le dispositif 200 de refroidissement par évaporation comprend :

- Un bouchon 201 destiné à être inséré dans le tube interne 1, le bouchon 201 comprenant : une joue adaptée pour obturer le tube interne 1, ladite joue quand le dit dispositif 200 est inséré dans le tube interne 1, définissant ainsi, avec la paroi du tube interne 1, une section du tube interne 1 dans laquelle le liquide de refroidissement est introduit,
- au moins un moyen d'aspersion 212 d'un liquide de refroidissement sur la face envers de la soudure, c'est-à-dire sur la face interne 12 du tube interne 1 au niveau de la soudure, à l'intérieur de la section du tube interne 1 définie par la joue.

[0133] Également, ce dispositif 200 peut comprendre au moins un moyen d'adjonction d'un flux d'air comprimé, ou de tout autre fluide auxiliaire de vaporisation, dans le flux de liquide de refroidissement ce qui contribue comme mentionné, plus haut, à la formation du nuage ou bouillard de gouttelettes de liquide de refroidissement, et permet notamment d'optimiser la vitesse du refroidissement et son amplitude.

[0134] Ce dispositif 200 peut encore comprendre au moins un moyen d'extraction de la vapeur formée par le liquide de refroidissement au contact de la face envers de la soudure, tel qu'une hotte d'aspiration, un extracteur, un ventilateur, un bras d'extraction, etc...

[0135] Comme évoqué, le refroidissement par la face interne 12 du tube interne 1 permet un gain de productivité en permettant d'accélérer la soudure, en évitant les pauses (ou en diminuant leur nombre) et /ou en permettant l'utilisation de puissances de soudure plus importantes associées à des quantités de métal d'apport plus importantes à chaque passe, et en diminuant le nombre de rejet du fait de la plus grande quantité de métal déposé par unité de temps). De manière surprenante la demanderesse a également observé que le procédé 100 peut permettre le contrôle des propriétés

physiques de dureté et de résilience de la soudure et ainsi de viser l'équilibre au sein de la soudure, entre ces deux caractéristiques, plutôt que de les subir.

Essais expérimentaux

[0136] *Test de température*

[0137] Des mesures de températures ont été effectuées au droit de la soudure à chaque passe.

[0138] Il a été déterminé, quel que soit le mode de soudure testé, que sans refroidissement de la paroi interne du tube interne, les températures dans la soudure pouvaient atteindre 400°C et varier selon une grande amplitude du fait de l'application de pauses dans la soudure, alors que la température observée avec un dispositif de refroidissement de la paroi interne du tube interne, est stable tout au long du processus de soudure et comprise en moyenne entre 150 et 200°C, une fois les premières passes de montée en température effectuées.

[0139] *Test de Charpy*

[0140] Le test de Charpy est un test de résilience qui consiste en essai de flexion par choc, réalisé sur un marteau-pendule. Ce test fournit des informations sur le comportement en rupture du matériau testé, et notamment sur l'énergie nécessaire à propager une fissure amorcée. Les codes de soudage imposent une valeur minimale à cet essai pour pouvoir considérer une procédure de soudage qualifiée, par exemple 45 J/cm² dans le cas de la norme DNV-ST-F101.

[0141] Les mesures ont été effectuées pour des échantillons pour lesquels un refroidissement à différentes températures de la face interne du tube interne a été appliqué à la zone de soudure, et des échantillons pour lesquels la technique habituelle de pauses a été appliquées.

[0142] Les résultats obtenus présentés [Fig.7] A montrent une augmentation significative de la résilience de la soudure, et que la rupture reste suffisamment ductile même à -70°C, dans les échantillons traités par le refroidissement de la paroi interne du tube interne. L'énergie absorbée moyenne est bien au-dessus de la limite posée par la norme DNV-ST-F101. Des résultats satisfaisants selon cette norme ne sont obtenus pour les échantillons sans refroidissement qu'à compter de -20°C.

[0143] *Mesure de la dureté Vickers*

[0144] Cette mesure consiste à déformer la pièce à évaluer en utilisant un pénétrateur en forme de pyramide à base carrée ayant un angle au sommet de 136°. La diagonale de l'empreinte permanente après retrait du pénétrateur est ensuite mesurée et comparée à une échelle de dureté.

[0145] La charge d'essai appliquée ici est de 9,8 daN pendant 10 à 15 s.

[0146] Comme le montre la [Fig.7] B, dans la quasi-totalité de la soudure on note une augmentation de la dureté Vickers dans l'échantillon pour lequel un refroidissement de la paroi interne a été mené concomitamment à la soudure, en comparaison à un

échantillon pour lequel la technique habituelle de pause entre des passes a été appliquée. L'invention peut permettre de contrôler les paramètres de refroidissement pour obtenir une amélioration de la résilience et une amélioration de la productivité, en maintenant une augmentation acceptable de la dureté.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif (200) de refroidissement de la zone de soudure lors du soudage de l'extrémité (23) d'un tube externe (2) métallique sur un tube interne (1) métallique, ledit dispositif (200) comprenant des moyens de refroidissement aptes à refroidir la zone de soudure par mise en contact d'un liquide de refroidissement, préférentiellement de l'eau, avec la face interne (12) du tube interne (1).
- [Revendication 2] Le dispositif (200) de refroidissement de la zone de soudure lors du soudage de l'extrémité (23) d'un tube externe (2) métallique sur un tube interne (1) métallique, selon la revendication 1, dans lequel les moyens de refroidissement permettent un refroidissement par évaporation ou conducto-convection du liquide de refroidissement en contact avec la face envers de la soudure, c'est-à-dire sur la face interne (12) du tube interne (1) au niveau de la soudure.
- [Revendication 3] Le dispositif (200) de refroidissement selon l'une des revendications 1 ou 2, qui est un dispositif (200) de refroidissement par conducto-convection et qui comprend :
- un bouchon (201) destiné à être inséré dans le tube interne (1), le bouchon (201) comprenant :
 - deux joues (202,203) adaptées pour obturer le tube interne (1), lesdites joues (202,203), quand le dit dispositif (200) est inséré dans le tube interne (1), définissant ainsi avec la paroi du tube interne (1) un compartiment (204) dans lequel le liquide de refroidissement est introduit,
 - au moins un axe (205) sur lequel les joues (202,203) sont fixées,
 - un système (207) de mise en circulation du liquide de refroidissement dans le compartiment (204).
- [Revendication 4] Un bouchon (201) d'un dispositif (200) de refroidissement selon la revendication 3 et destiné à être inséré dans le tube interne (1), le bouchon (201) comprenant :
- deux joues (202,203) adaptées pour obturer le tube interne (1),

lesdites joues (202,203), quand le dit dispositif (200) est inséré dans le tube interne (1), définissant ainsi avec la paroi du tube interne (1) un compartiment (204) dans lequel le liquide de refroidissement est introduit,

- au moins un axe (205) sur lequel les joues (202,203) sont fixées.

[Revendication 5]

Le dispositif (200) de refroidissement selon l'une des revendications 1 ou 2 qui est un dispositif (200) de refroidissement par évaporation qui comprend :

- Un bouchon (201) destiné à être inséré dans le tube interne (1), le bouchon (201) comprenant :
 - deux joues (202,203) adaptées pour obturer le tube interne (1), lesdites joues (202,203), quand le dit dispositif (200) est inséré dans le tube interne (1), définissant ainsi, avec la paroi du tube interne (1), un compartiment (204) dans lequel le liquide de refroidissement est introduit,
 - au moins un axe (205) sur lequel les joues (202,203) sont fixées,
 - au moins un moyen d'aspersion (212) d'un liquide de refroidissement sur la face envers de la soudure, c'est-à-dire sur la face interne (12) du tube interne (1) au niveau de la soudure, à l'intérieur du compartiment (204),
 - au moins un moyen d'extraction (213), en dehors du compartiment (204), de la vapeur formée par le liquide de refroidissement au contact de la face envers de la soudure, lors de celle-ci,
- un système (218) connecté fluidiquement au moyen d'extraction (213) de la vapeur qui permet l'aspiration de la vapeur à l'extérieur du compartiment (204) formé par le bouchon (201).

[Revendication 6]

Un bouchon (201) d'un dispositif (200) de refroidissement selon la re-

vention 5 et destiné à être inséré dans le tube interne, le bouchon (201) comprenant :

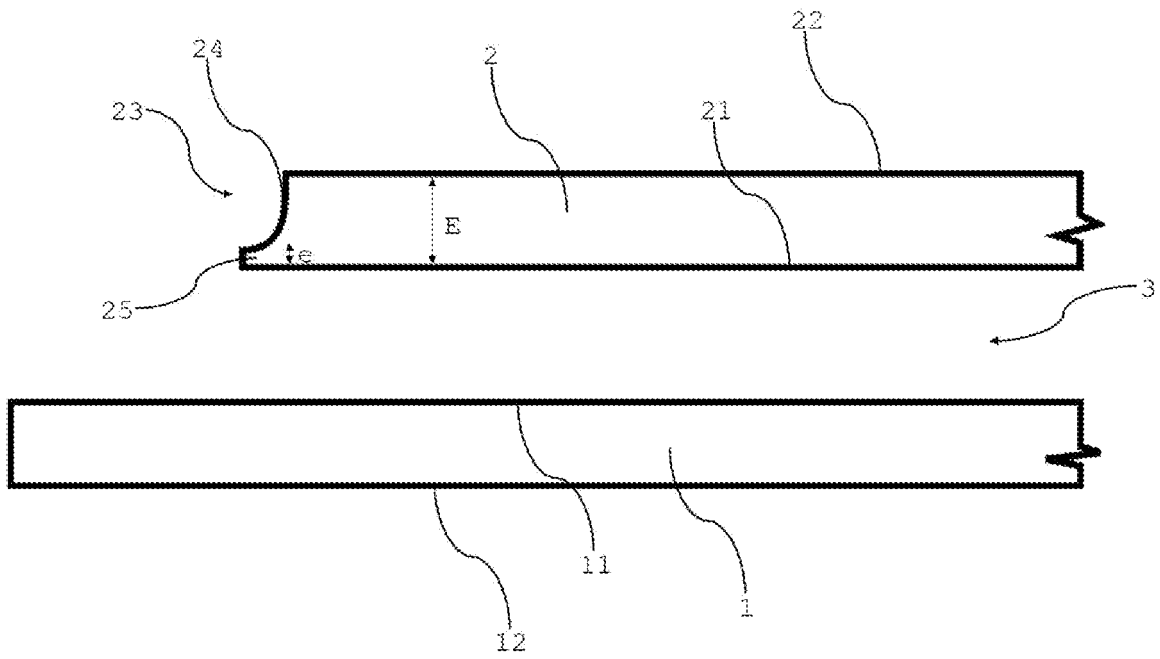
- deux joues (202,203) adaptées pour obturer le tube interne (1), lesdites joues (202,203), quand le dit dispositif (200) est inséré dans le tube interne (1), définissant ainsi, avec la paroi du tube interne (1), un compartiment (204) dans lequel le liquide de refroidissement est introduit,
- au moins un axe (205) sur lequel les joues (202,203) sont fixées,
- au moins un moyen d'aspersion (212) d'un liquide de refroidissement sur la face envers de la soudure, c'est-à-dire sur la face interne (12) du tube interne (1) au niveau de la zone de soudure, à l'intérieur du compartiment (204),
- au moins un moyen d'extraction (213), en dehors du compartiment (204), de la vapeur formée par le liquide de refroidissement au contact de la face interne (12) du tube interne (1) au niveau de la zone de soudure, lors de celle-ci.

[Revendication 7]

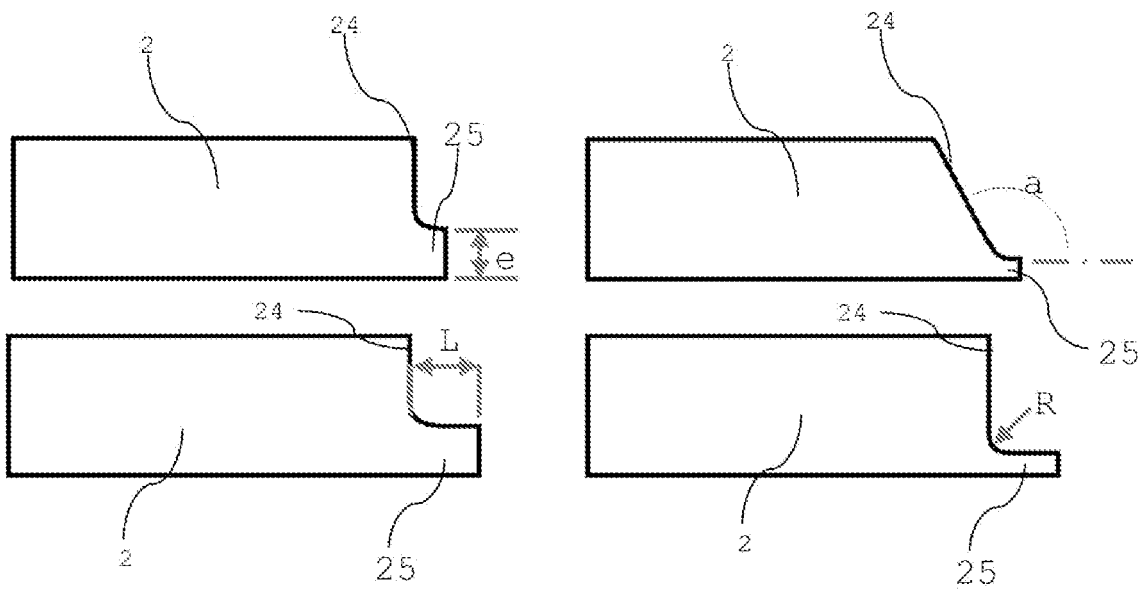
Le dispositif (200) de refroidissement selon l'une des revendications 1 ou 2 qui est un dispositif (200) de refroidissement par évaporation qui comprend :

- un bouchon (201) destiné à être inséré dans le tube interne (1), le bouchon (201) comprenant : une joue (202) adaptée pour obturer le tube interne (1), ladite joue quand ledit dispositif (200) est inséré dans le tube interne (1), définissant ainsi, avec la paroi du tube interne (1), une section du tube interne (1) dans laquelle le liquide de refroidissement est introduit,
- au moins un moyen d'aspersion (212) d'un liquide de refroidissement sur la face envers de la soudure, c'est-à-dire sur la face interne (12) du tube interne (1) au niveau de la soudure, à l'intérieur de la section du tube interne (1) définie par la joue.

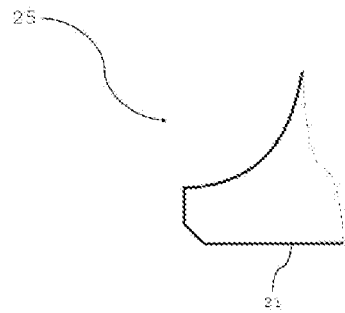
[Fig. 1]



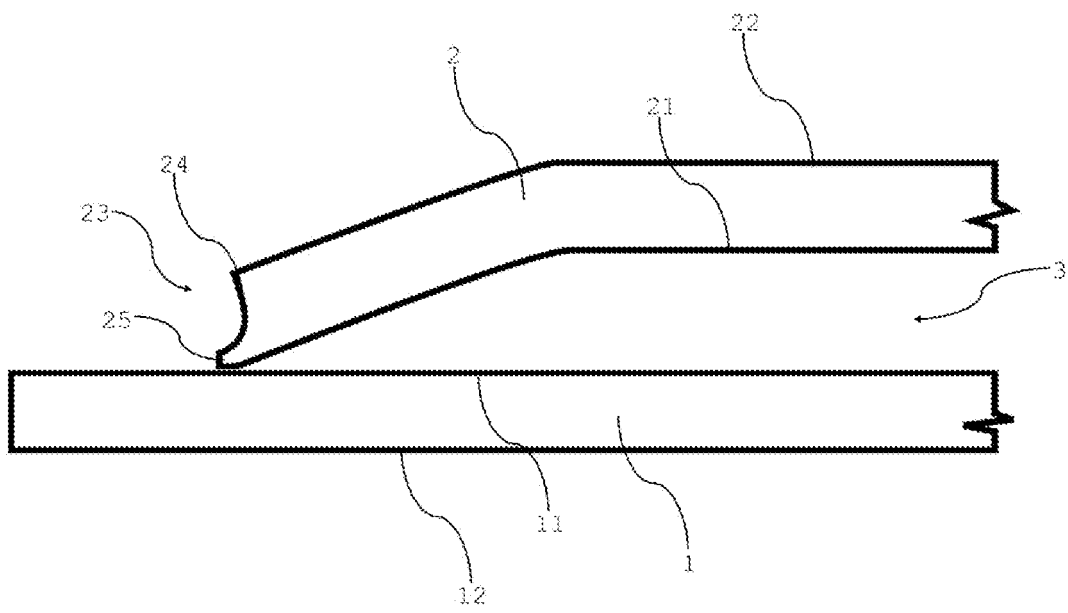
[Fig. 2]



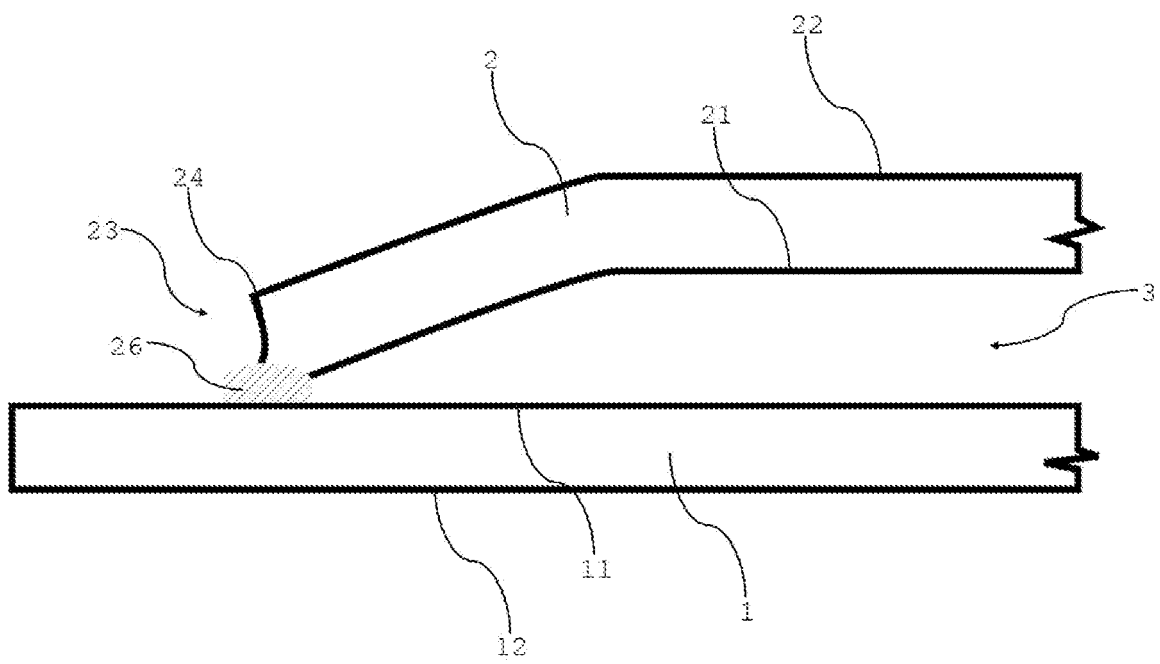
[Fig. 3]



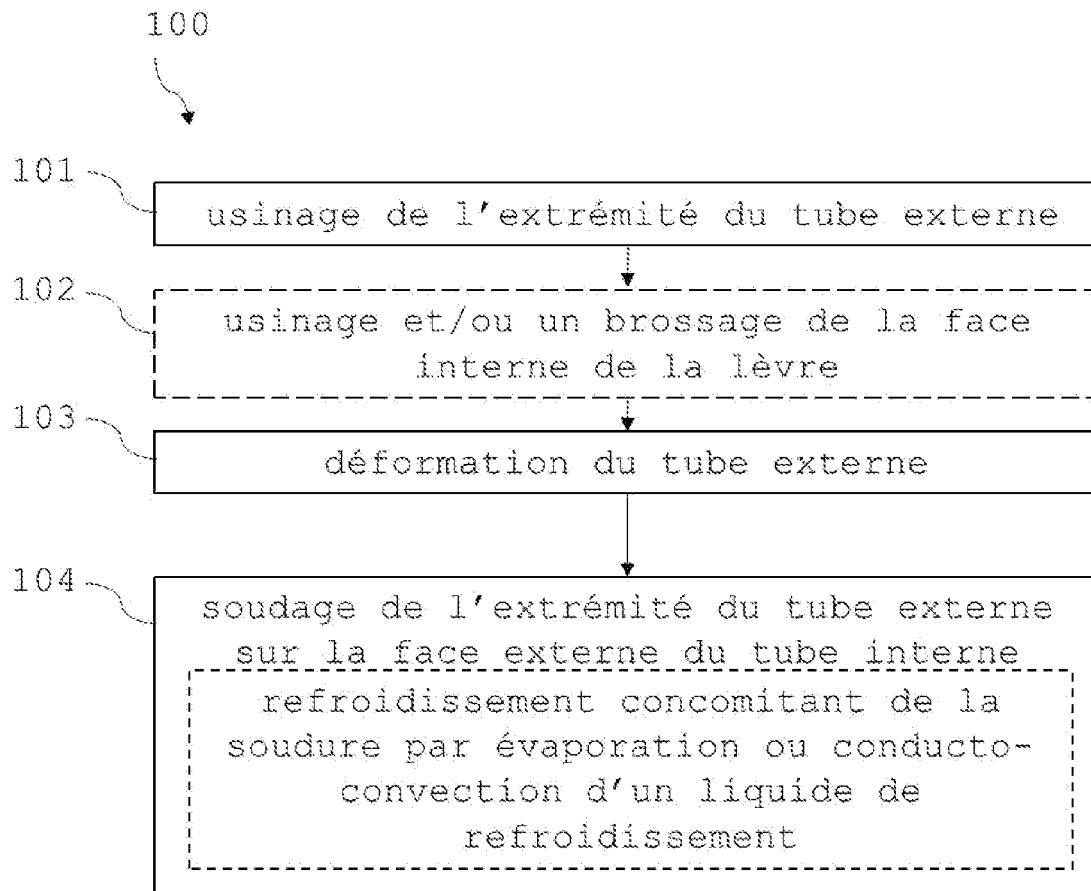
[Fig. 4]



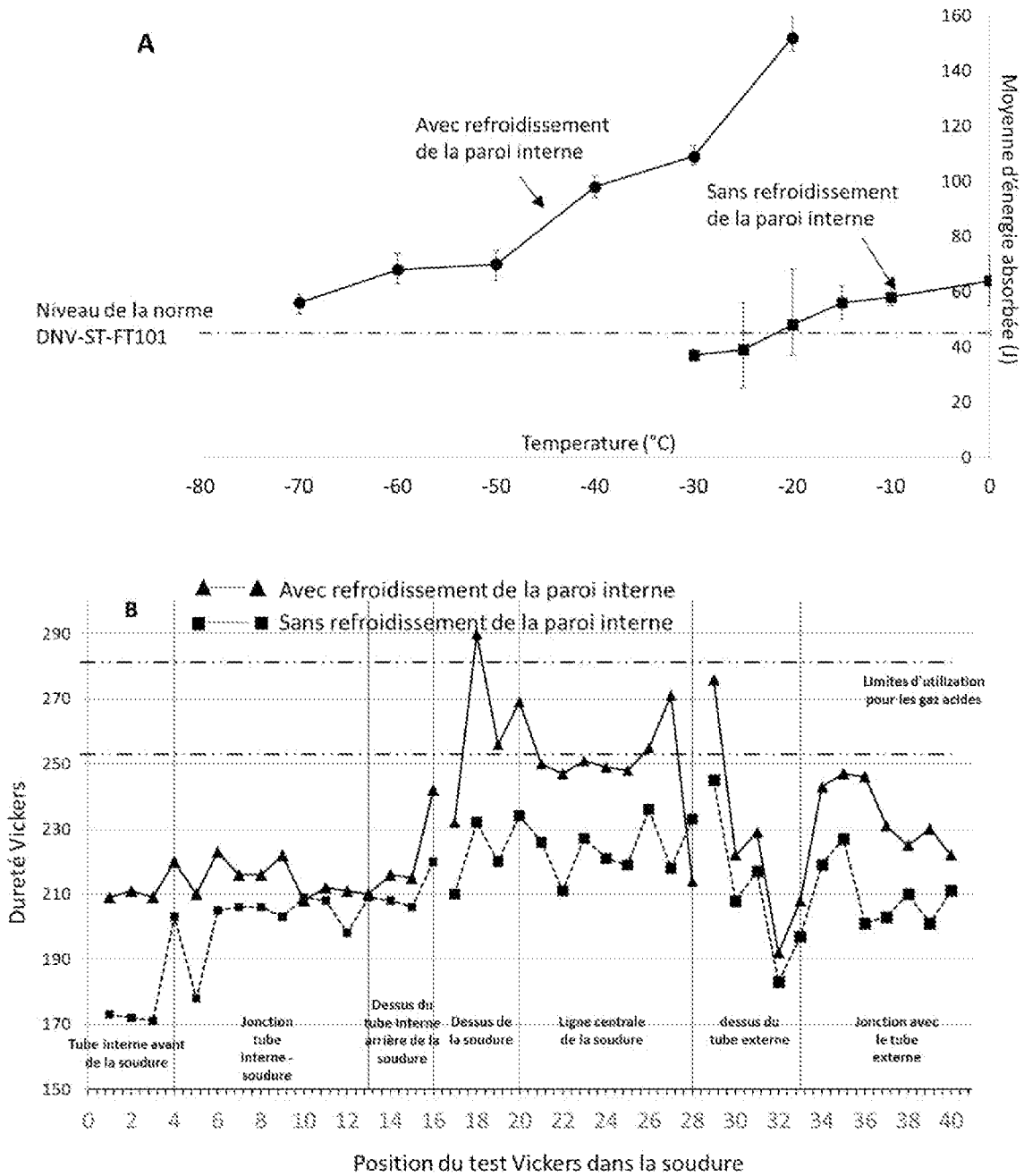
[Fig. 5]



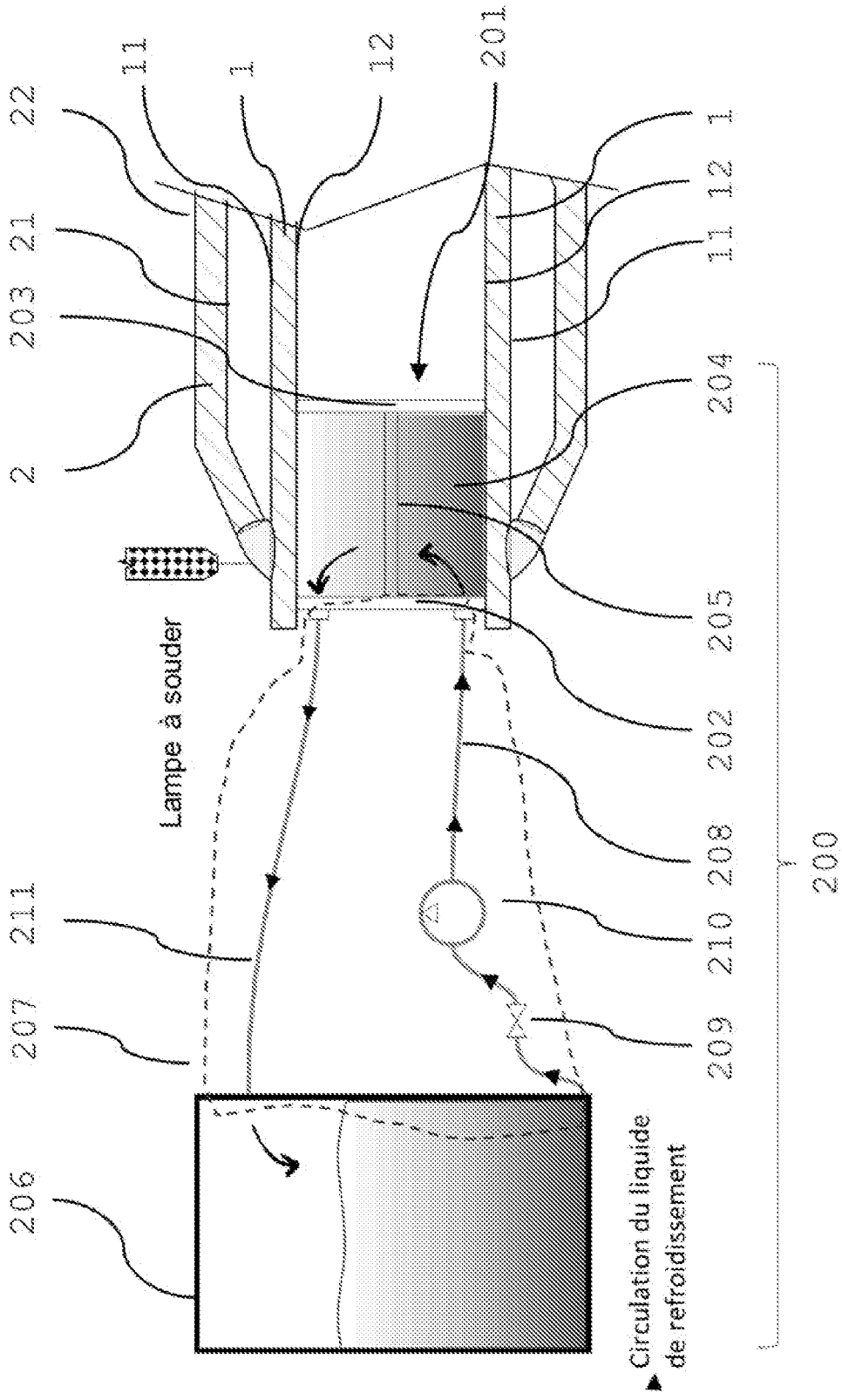
[Fig. 6]



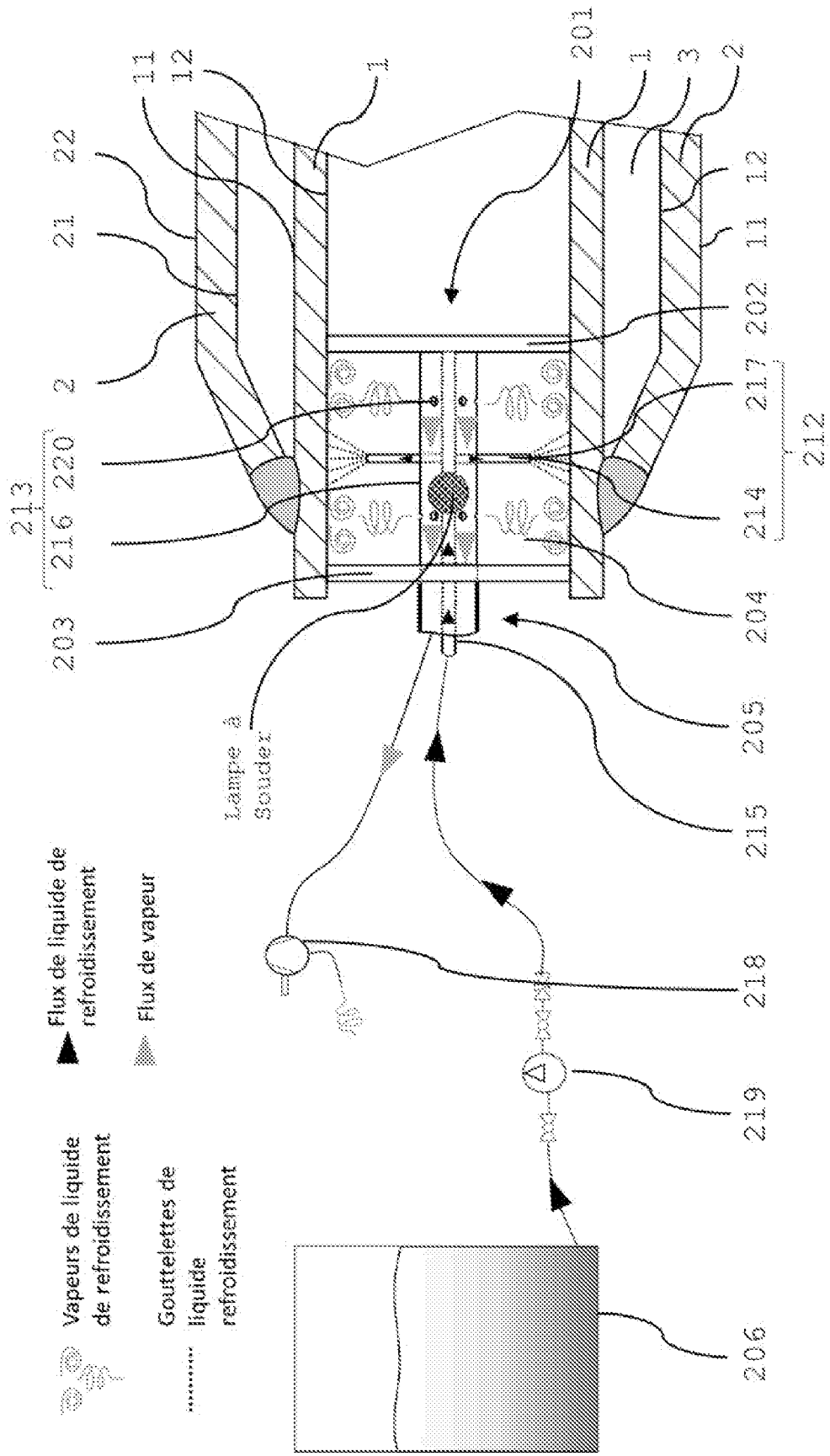
[Fig. 7]



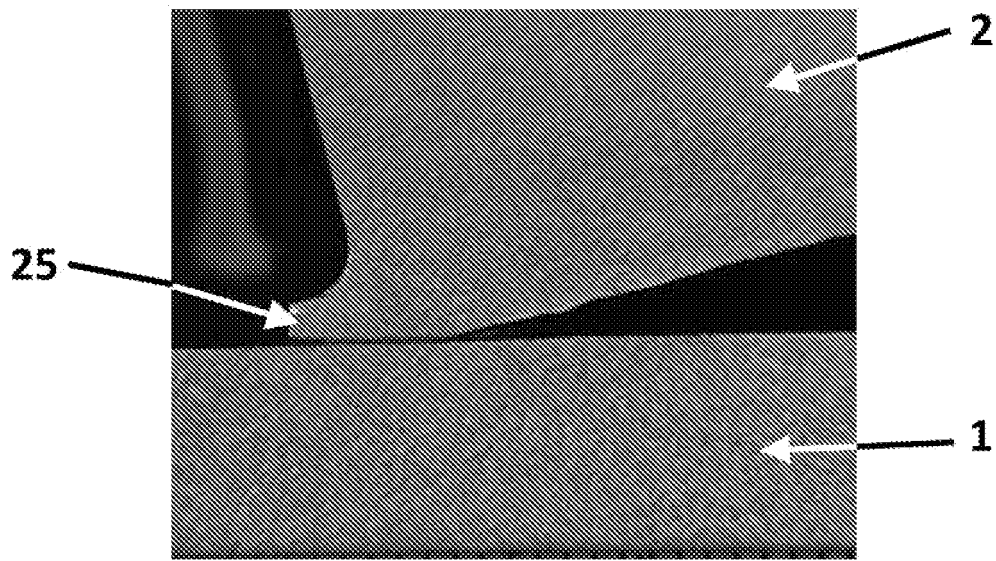
[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]



5 mm

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 930709
FR 2402915

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	JP S59 76691 A (KAWASAKI HEAVY IND LTD) 1 mai 1984 (1984-05-01) * figures * -----	1, 2	B23K 31/02 B23Q 11/10 B23K 101/06 B23K 37/00
X	WO 87/05844 A1 (SUNDHOLM GOERAN [FI]) 8 octobre 1987 (1987-10-08) * figures * -----	1-4	
X	JP S59 118295 A (HITACHI LTD) 7 juillet 1984 (1984-07-07) * figures * -----	1, 4, 7	
A		5, 6	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B23K F16L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 octobre 2024		Caubet, J	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2402915 FA 930709**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 16 - 10 - 2024
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP S5976691	A	01-05-1984	AUCUN

WO 8705844	A1	08-10-1987	AT E77285 T1 15-07-1992
			AU 599648 B2 26-07-1990
			CA 1283954 C 07-05-1991
			CN 87102272 A 21-10-1987
			DE 3779915 T2 14-01-1993
			DK 617287 A 24-11-1987
			EP 0299969 A1 25-01-1989
			FI 883964 A 26-08-1988
			GB 2209296 A 10-05-1989
			JP S63503049 A 10-11-1988
			KR 880701154 A 25-07-1988
			US 4828160 A 09-05-1989
			WO 8705844 A1 08-10-1987
			YU 52787 A 30-06-1989

JP S59118295	A	07-07-1984	AUCUN
