

DESCRIPTION

TITRE : Connexion à capteur intégré

5

L'invention concerne les composants filetés tubulaires et plus particulièrement les connexions tubulaires en acier pour joint fileté tubulaire pour le forage, l'exploitation des puits d'hydrocarbures ou pour le transport de pétrole et de gaz ou pour les puits de géothermie, ou encore pour les puits de stockage de CO₂.

10

On entend ici par "composant" tout élément ou accessoire utilisé pour forer ou exploiter un puits et comprenant au moins une connexion ou connecteur ou encore extrémité filetée, et destiné à être assemblé par un filetage à un autre composant pour constituer avec cet autre composant un joint fileté tubulaire. Le composant peut être par exemple un élément tubulaire de relativement grande longueur (notamment d'environ une dizaine de mètres de longueur), par exemple un tube, ou bien un manchon tubulaire de quelques dizaines de centimètres de longueur, ou encore un accessoire de ces éléments tubulaires (dispositif de suspension ou « hanger », pièce de changement de section ou « cross-over », vanne de sécurité, connecteur pour tige de forage ou « tool joint », « sub », et analogues).

15

20

25

30

Les composants tubulaires sont dotés d'extrémités filetées. Ces extrémités filetées sont complémentaires permettant le raccordement de deux éléments tubulaires mâle (« Pin ») et femelle (« Box ») entre eux, formant un joint. Il y a donc une extrémité filetée male et une extrémité filetée femelle. Les extrémités filetées dites premium ou semi-premium comportent généralement au moins une surface de butée. Une première butée peut être formée par deux surfaces libres sur les extrémités filetées configurées de façon à être en contact l'une avec l'autre à l'issue du vissage des extrémités filetées entre elles ou lors de sollicitations de compression. Les butées ont généralement des angles négatifs par rapport à l'axe principal des connexions.

Ces joints sont soumis à des sollicitations de traction ou de compression axiales, de pressions intérieures ou extérieures de fluide, de flexion ou encore de torsion, éventuellement combinées et d'intensité pouvant fluctuer. L'étanchéité doit être assurée malgré les sollicitations et malgré les conditions d'emploi rudes sur chantier. Les joints filetés doivent pouvoir être vissés et dévissés plusieurs fois sans dégradation de leurs performances, notamment par grippage. Après dévissage, les composants tubulaires peuvent être réutilisés dans d'autres conditions de service.

En particulier, le grippage est un phénomène qui peut apparaître lors de l'assemblage de connexions. L'occurrence d'un grippage peut être identifiée lors du vissage, notamment grâce à des variations anormales de la vitesse ou du couple de vissage appliqués lors de l'assemblage, mais tout grippage, n'est pas nécessairement détecté par ces seuls paramètres, l'assemblage pouvant apparaître comme normal avec les moyens de mesure existants. De plus, la localisation d'un grippage n'est pas déterminable avec ces seuls paramètres. Un grippage peut se traduire par un arrachement localisé de matière. Par exemple, un arrachement de matière au sein des filets, ou bien encore un arrachement de matière au niveau des surfaces d'étanchéités. On comprend alors que les fonctions principales des filets ou des surfaces d'étanchéités peuvent être compromises. Il existe donc un besoin pour des solutions supplémentaires permettant d'améliorer la fiabilité de détection de l'apparition d'un grippage pendant l'assemblage.

Par ailleurs, une autre forme de dégradation des éléments fonctionnels d'une connexion peut être des plastifications de matière non désirées, suite à des sollicitations subies plus élevées que les sollicitations d'utilisation dans des conditions normales, ou suite à des répétitions de sollicitations, y compris dans des domaines d'utilisation standards pour la connexion. Encore par ailleurs, des sollicitations de fatigue peuvent dégrader l'état des éléments fonctionnels d'une connexion, en faisant apparaître des craquelures de fatigue dans la matière.

Il existe donc un besoin pour une solution permettant de déterminer des conditions d'état des connexions lors de leur assemblage ou pendant leur utilisation.

La présente invention permet d'améliorer la situation.

5 [Fig 1] montre, en vue partielle en coupe, une connexion de l'état de l'art.

[Fig 2] montre une connexion selon une première variation de l'invention.

10 [Fig 3] montre un graphique de répartition des composantes des contraintes en fonction de la profondeur au droit d'une surface d'étanchéité pour une connexion donnée.

[Fig 4] montre une vue schématique en perspective d'une variation de l'invention.

15 [Fig 5] montre une connexion selon une deuxième variation de l'invention.

[Fig 6] montre une connexion selon une troisième variation de l'invention.

[Fig 7] montre une connexion selon une quatrième variation de l'invention.

20 [Fig 8] montre une connexion selon une cinquième variation de l'invention.

Selon un premier aspect, l'invention est une connexion filetée tubulaire mâle ou femelle (1) pour une conduite en acier comprenant au moins un filetage extérieur (10) ou intérieur (11), une lèvre d'extrémité (12), une portion réalisée par fabrication additive (3) agencée pour loger au moins un capteur (4) à une distance prédéterminée d'une surface fonctionnelle (5, 6, 7) de ladite connexion, le capteur (4) étant agencé pour mesurer une grandeur physique liée à ladite surface fonctionnelle (5, 6, 7) et ladite surface fonctionnelle (5, 6, 7) étant choisie parmi une surface d'étanchéité, un filetage, une butée, un diamètre intérieur ou un diamètre extérieur. Ceci permet d'avoir au moins un capteur dans la connexion et de pouvoir accéder à des mesures de conditions physiques de la connexion.

25

30

Selon un aspect, le au moins un capteur (4) peut comprendre un transducteur choisi parmi une jauge de déformation, une jauge de cisaillement, une jauge de déformation de type rosette, un capteur de force, une jauge de température, un capteur de pression, ou un détecteur à seuil. Ceci permet d'accéder aux conditions physiques de contraintes et de températures au sein d'une connexion, qui sont des grandeurs qui permettent d'accéder à des états de la connexion, que ce soit en sollicitation, en fatigue, en conditions d'utilisation.

Selon un autre aspect, la connexion peut comprendre une plaque de protection thermique (8) à proximité dudit au moins un capteur (4) et située entre le au moins un capteur (4) et la portion ajoutée par fabrication additive (3). Ceci permet de protéger le capteur et son électronique associée pendant la fabrication de la connexion et l'ajout de matière additive, et permet également d'améliorer les mesures desdits capteurs.

Le capteur (4) peut être à une distance D supérieure ou égale à une profondeur minimale Pmin telle que :

$$P_{min} = 5,031 \times \sqrt{\frac{160 \times e \times \text{intf} \times R \times (1 - \nu^2)}{\pi \times D^2}}$$

Selon une variante, la surface fonctionnelle peut être une surface d'étanchéité (5) et le capteur (4) est situé au droit de la surface d'étanchéité (5) à une distance radiale d'au moins 0,6 mm de la surface d'étanchéité (5). Ceci permet en particulier de mesurer des grandeurs physiques liées à la surface d'étanchéité (5).

Selon une autre variante, ledit capteur (4) est choisi parmi une jauge de déformation, une jauge de cisaillement, une jauge de déformation de type rosette, un capteur de force, et ledit capteur (4) est situé au droit d'une surface d'étanchéité (5) et à une distance radiale d'au moins 2 x Pmin de la surface d'étanchéité (5). Ceci permet de mesurer de manière fiable les contraintes dans la connexion représentatives des contraintes subies par la surface d'étanchéité (5).

Selon une variante complémentaire ou alternative, la surface fonctionnelle peut être un filetage extérieur (10) ou intérieur (11) et le capteur (4) est situé au droit dudit filetage extérieur (10) ou intérieur (11) à une distance supérieure ou égale à P_{min} par rapport à une ligne de fond de filetage. Ceci permet de mesurer de manière fiable les contraintes dans la connexion représentatives des contraintes subies par le filetage (10, 11).

Selon une variante complémentaire ou alternative, la surface fonctionnelle peut être un filetage extérieur (10) ou intérieur (11) et le capteur (4) peut être situé au droit dudit filetage extérieur (10) ou intérieur (11) à une distance supérieure ou égale à 0,6 mm par rapport à une ligne de fond de filetage.

Selon une variante complémentaire ou alternative, la surface fonctionnelle peut être un diamètre intérieur (D_i) et le capteur (4) peut être situé au droit du diamètre intérieur (D_i) et à une distance radiale d'au moins 0,6 mm de la surface intérieure (5). Ceci permet de mesurer de manière fiable les contraintes dans la connexion représentatives des contraintes subies par la surface intérieure (5).

Selon une variante complémentaire ou alternative, la surface fonctionnelle peut être une surface de butée (6) et le capteur est situé à une distance D d'au moins 1 mm de la surface de butée. Ceci permet de mesurer de manière fiable les contraintes dans la connexion représentatives des contraintes subies par la butée (6) et de protéger le capteur de contraintes mécaniques élevées qui s'exercent usuellement sur une butée.

Selon un aspect, la portion ajoutée (11) peut être réalisée par un procédé choisi parmi les procédés de rechargement, les procédés de fusion par faisceau d'électrons, les procédés de fusion laser sur lit de poudre métallique ou « selective laser melting », les procédés de frittage sélectif par laser, les procédés de dépôt métallique direct ou « Direct Energy Deposition », les procédés de Dépôt par Projection de Liant ou Dépôt par Projection Laser, les procédés de dépôt par fabrication additive arc-fil.

L'invention est aussi un procédé de réalisation d'une connexion fileté (1) pour une conduite en acier comprenant les étapes de :

- Premier usinage d'un corps de connexion ménageant un logement,
- 5 – Montage d'au moins un capteur dans ledit logement, avec optionnellement au moins une plaque de protection thermique,
- Dépôt de matière par fabrication additive de manière à compléter ledit logement par-dessus le au moins un capteur (4) et optionnellement par-dessus la plaque de protection thermique (8) et ainsi réaliser une
- 10 portion par fabrication additive,
- Usinage complémentaire de la connexion comprenant l'usinage d'une surface fonctionnelle dans ladite portion réalisée par fabrication additive.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description et des

15 dessins annexés.

La figure 1 montre une vue partielle en coupe d'une connexion femelle (2) et d'une connexion mâle (1) de l'état de l'art comprenant respectivement un filetage interne (10) et un filetage externe (11), une surface d'étanchéité femelle (7) et une surface d'étanchéité mâle (5),

20 une lèvre d'extrémité mâle (12) comprenant une butée mâle (6) ; une butée femelle (9) correspondante sur la connexion femelle (2).

Les connexions peuvent également comprendre plusieurs étages de filetages, des surfaces d'étanchéités supplémentaires, par exemple situées entre la lèvre d'extrémité femelle (13) et un filetage (10, 11),

25 avec une surface d'étanchéité correspondante sur l'élément mâle (1).

Les modes de réalisation décrits ci-après décrivent une connexion mâle mais les caractéristiques décrites s'appliquent également sur une connexion femelle.

La figure 2 montre un premier mode de réalisation de l'invention dans lequel une connexion mâle (1) comprend un corps (21), un filetage

30 (11), une lèvre d'extrémité (12), une portion réalisée par fabrication additive (3), et un capteur (4).

Le capteur (4) comprend un transducteur permettant de convertir un signal physique en un autre signal, particulièrement un signal électrique.

5 La portion réalisée par fabrication additive (3) comprend une surface d'étanchéité (5). Le capteur (4) est situé à une distance prédéterminée D de la surface d'étanchéité (5). Le capteur (4) est agencé pour mesurer une grandeur physique liée à ladite surface fonctionnelle qui est ici une surface d'étanchéité. C'est-à-dire que le capteur est agencé pour pouvoir mesurer des grandeurs physiques telles qu'une
10 contrainte, une température, une force, à proximité de ladite surface fonctionnelle (5) et qui sont représentatives de grandeurs exercées au niveau de la surface fonctionnelle (5).

Selon un aspect, la connexion comprend une plaque de protection thermique (8), située à proximité du capteur (4) et agencée de manière à
15 séparer le transducteur du capteur (4) d'une partie de la portion ajoutée par fabrication additive (3). La plaque de protection thermique permet de protéger le capteur de dégradations dues à la chaleur pendant l'étape de réalisation de la partie ajoutée par fabrication additive, procédé qui est exothermique.

20 Avantagusement, la plaque de protection (8) est agencée de manière à limiter la perte de transmission des sollicitations au niveau de la surface extérieure à proximité du capteur (4). Dans le cas du premier mode de réalisation, la surface à proximité du capteur est la surface d'étanchéité (5). La plaque de protection est donc agencée de manière à
25 pouvoir transmettre les contraintes s'exerçant au niveau de la surface d'étanchéité (5) et transmises dans la matière à proximité de ladite surface d'étanchéité (5). Le capteur (4) et la plaque de protection thermique (8) peuvent être liés par collage, vissage, poinçonnage, le transducteur peut être imprimé, par exemple sur une plaque époxy. En
30 pratique la plaque de protection thermique est une plaque sensiblement plane. Elle peut comporter des extrémités pliées ou recourbées de manière à ce que la plaque de protection thermique ait un profil en U inversé ou un profil en H, ceci afin de protéger le transducteur du

capteur (4) latéralement et/ou afin d'améliorer l'accroche de la plaque de protection dans la connexion.

5 Selon un aspect, le transducteur du capteur (4) est choisi parmi une jauge de déformation, jauge de cisaillement, une jauge de déformation de type rosette, un capteur de force, une jauge de température, un capteur de pression, un détecteur à seuil.

10 A titre d'exemple, le transducteur du capteur (4) peut être une jauge de contrainte piezorésistive de type jauge à trame pelliculaire, réalisée en un circuit imprimé sur plaque support en époxy vissé sur la plaque de protection. Alternativement, la jauge peut être une jauge à fil collée sur une plaque support. Alternativement, le capteur peut être soudé ou imprimé.

15 Avantageusement, la plaque support est la plaque de protection thermique (4). L'ajout de matière par fabrication additive se fait sur la plaque de protection thermique, de sorte que l'intimité entre la plaque de protection thermique et la matière ajoutée permet de transmettre des contraintes de la matière ajoutée vers la plaque de protection thermique.

20 La plaque de protection thermique peut avoir une épaisseur supérieure à 0,3 mm. La plaque de protection thermique peut être en acier, acier inoxydable ou alliage de titane, en alliage de cuivre et/ou aluminium. La plaque de protection thermique peut être une combinaison de deux couches, une couche d'acier ou acier inoxydable ou alliage de titane et une couche en alliage de cuivre et/ou aluminium, soit une couche de faible conductivité thermique pour stopper la propagation de la chaleur et une couche de forte conductivité thermique pour dissiper la chaleur.

25 Selon un autre aspect, le capteur (4) peut être de type intégré. Un capteur intégré comprend, en plus d'un transducteur d'une composante physique en un signal électrique ou signal de mesure, une électronique agencée pour mettre en forme ledit signal de mesure en un signal de sortie de mesure, optionnellement un module de mémoire et un module de communication pour conserver les mesures effectuées sous la forme de jeux de données et communiquer sur demande d'une unité de contrôle

extérieure les données de mesures. Le capteur peut en outre comprendre une source d'alimentation.

Dans le premier mode de réalisation de la figure 2, un capteur (4) est situé au droit de la surface d'étanchéité (5). Le capteur (4) est situé à une distance D d'au moins 0,6 mm de la surface d'étanchéité (5).

Plus généralement, lorsque le capteur (4) est choisi parmi les capteurs de contrainte ou de force, comme une jauge de déformation, jauge de cisaillement, une jauge de déformation de type rosette, un capteur de force, un capteur de pression, un détecteur à seuil, il est préférable que ledit capteur (4) soit situé à une distance minimale d'une surface d'étanchéité, une distance D supérieure ou égale à la profondeur Pmin telle que

$$(1) \quad P_{min} = 5,031 \times \sqrt{\frac{160 \times e \times \text{intf} \times R \times (1-\nu^2)}{\pi \times D^2}}$$

Cette équation (1) est applicable à une surface d'étanchéité torique ou de type tore-cône, c'est-à-dire une étanchéité métal-métal dont l'une des surfaces présente un rayon de courbure R.

Cette distance minimale Pmin dépend du diamètre de la surface d'étanchéité D, de l'interférence *intf*, de l'épaisseur *e* de la lèvre supportant la surface d'étanchéité, le rayon R de la portion torique ainsi que du coefficient de Poisson du matériau. Le coefficient multiplicateur 5,031 est appliqué. Ce coefficient correspond à la demi-longueur de contact qui, multiplié par 0.7861, permet de calculer la profondeur pour laquelle la contrainte de cisaillement est maximale c'est-à-dire $(12.8/2) \times 0.7861 \approx 5.031$. Le chiffre 0.7861 correspond au coefficient de la théorie de Hertz dans le cadre d'un contact linéique.

Au-delà de la profondeur Pmin, la variation de valeur des contraintes est dite stabilisée, sans inflexion de la variation de valeurs. De plus, la présence du capteur peut impliquer une redistribution des contraintes dans la matière due à une discontinuité, même si cet effet reste ponctuel par rapport à la circonférence de la surface d'étanchéité.

Néanmoins, il a été déterminé qu'une distance minimale de 0,6 mm du capteur par rapport à la surface contrainte permet de s'affranchir pour la plupart des cas des variations abruptes de contraintes et permet en outre de limiter les effets de redistribution de contraintes. Le capteur est situé au plus à une distance de 5 mm de la surface d'étanchéité (5), afin de garantir que le capteur (4) peut mesurer des contraintes représentatives d'un état du contact de la surface d'étanchéité, en particulier du contact avec une surface d'étanchéité correspondante d'une connexion femelle.

La connexion peut comporter plus d'un capteur, préférentiellement répartis circonférentiellement. Les capteurs peuvent être de même type ou de types différents. En complément ou alternativement, la connexion peut comporter plus d'un capteur, tous contenus dans une même portion réalisée par fabrication additive (3).

Par exemple la connexion fileté tubulaire (1) de la figure 4 comprend trois capteurs (4a, 4b, 4c). Les trois capteurs (4a, 4b, 4c) sont des jauges de contrainte. Une jauge de contrainte présente une orientation dite orientation longitudinale. Les trois capteurs (4a, 4b, 4c) sont disposés de manière à mesurer trois composantes de la contrainte subie par la connexion: une jauge de contrainte normale axiale (4a), dont l'orientation longitudinale est sensiblement parallèle à l'axe de la connexion; une jauge de contrainte normale en cercle (dite "hoop stress") (4b), dont l'orientation longitudinale est sensiblement perpendiculaire à l'axe de la connexion; une jauge de cisaillement (4c), dont l'orientation longitudinale est forme un angle de 45° avec une droite parallèle à l'axe de la connexion et passant par un point de la jauge.

Cet exemple est non limitatif par rapport à l'ajout de capteurs supplémentaires, par exemple de nature différente, tel qu'une jauge de température, un capteur de force. Par exemple aussi, les capteurs de contrainte peuvent être de différentes natures. Il est possible de remplacer une jauge de contrainte par une autre de type rosette, ou une jauge de cisaillement. Avantageusement, la jauge de température permet de connaître la température d'opération du capteur et les

données de températures peuvent être utilisées pour effectuer un calcul correcteur des contraintes mesurées par une ou plusieurs jauges de contrainte.

Alternativement, pour un capteur de type jauge de contrainte, la jauge de contrainte peut être réalisée par le biais de procédés de fabrication additive, par le biais d'impression de couches successivement non conductrices électriquement et conductrice électriquement et arrangées avec des motifs permettant de réaliser des pistes conductrices électriquement et isolées. Typiquement, les pistes conductrices ont des formes de type réseau, peigne, pont de rosette, à savoir les formes classiques des jauges de contrainte.

Dans une variation de connexion comportant plusieurs capteurs répartis circonférentiellement, une connexion selon l'invention peut comprendre une gorge circulaire dans laquelle est placée une ceinture de capteurs, gorge qui est ensuite complétée par un dépôt de matière fait par fabrication additive.

Un capteur (4) peut comprendre une électronique de traitement reliée au transducteur du capteur (4). L'électronique de traitement peut comprendre un étage de conditionnement du signal, pouvant comprendre un sous-étage convertisseur, un sous-étage amplificateur, et un sous-étage filtre. L'électronique de traitement peut comprendre une mémoire agencée pour conserver les données de mesure. Ainsi, le capteur (4) peut être interrogé par un dispositif externe pour relever les mesures effectuées durant une période de temps.

Dans une variation, le capteur (4) peut être muni d'un circuit agencé pour compter le nombre de cycles au cours desquels une intensité de contrainte mesurée a dépassé une intensité seuil de contrainte prédéterminée. Ainsi, le capteur peut enregistrer le nombre de cycles subis par la connexion au niveau de la surface fonctionnelle surveillée.

L'électronique de traitement peut être reliée par un conducteur ou par un émetteur permettant de transmettre un signal de mesure sans fil à une unité de contrôle. Cette unité de contrôle est agencée pour transmettre, traiter ou afficher la grandeur mesurée.

La figure 3 est un graphique montrant des courbes correspondant aux composantes des contraintes dans la matière, en fonction de la profondeur et au droit d'une portée d'étanchéité, pour une connexion de l'état de l'art. L'ordonnée correspond à la
5 profondeur en mm par rapport à la surface d'étanchéité. L'abscisse représente les valeurs de contraintes en Mpa. On constate que les variations de contraintes diminuent fortement au-delà d'une profondeur de 1mm et aussi que les évolutions de contraintes se stabilisent, c'est à dire sans inflexion de la courbe, comme c'est le cas
10 pour la courbe des valeurs de contraintes de cisaillement aux environs de 1 mm de distance à la surface d'étanchéité. Ainsi, il est plus intéressant d'introduire une discontinuité dans la matière à partir de 1 mm de distance de la surface d'étanchéité dans le cas de cette connexion. Des calculs ont montré qu'une profondeur minimale de
15 0,6mm était indiquée pour la plupart des connexions. Il est aussi possible d'utiliser le calcul de la profondeur minimale P_{min} selon l'équation (1) mentionnée.

Préférentiellement, le capteur (4) peut être à une distance d'au plus 5 mm de la surface fonctionnelle surveillée, car au-delà, certaines
20 composantes de grandeurs physiques à mesurer, telles que les contraintes, peuvent ne plus être mesurables de manière efficace ou de manière à pouvoir retrouver de manière fiable les grandeurs représentatives correspondantes au niveau de la surface de l'objet.

Ainsi, un capteur (4) peut être agencé pour mesurer des
25 contraintes, des forces ou températures s'exerçant au niveau d'une surface d'étanchéité, par exemple pour mesurer des contraintes de torsion au niveau de la surface d'étanchéité. En effet, le capteur ayant une orientation donnée, donc une composante des contraintes connue, une distance prédéterminée de surface d'étanchéité dont la géométrie
30 est connue, il est possible de déterminer une contrainte s'exerçant au niveau de la surface d'étanchéité (5) à partir d'une contrainte mesurée par le capteur (4).

Filetage

Selon un second mode de réalisation représenté en figure 5, la connexion comprend une portion réalisée par fabrication additive (3), un capteur (4) situé à une distance prédéterminée d'un filetage extérieur (10) ou filetage intérieur (11), selon que la connexion est
5 respectivement une connexion mâle ou femelle, le capteur (4) étant agencé pour mesurer une grandeur physique liée au filetage intérieur ou extérieur. Un filetage extérieur (10) ou intérieur (11) comprend, dans une vue de profil telle que représentée en figure 5, une série de filets (61) comprenant des sommets (62), des fonds (63) des flancs
10 d'engagement (64) et des flancs de chargement (65). Les fonds de filet (63) vus dans un plan de coupe sont reliés virtuellement par une ligne de fond de filetage (66) qui est une ligne virtuelle joignant les fonds de filet du filetage. Le capteur (4) est situé à une distance d'au moins 0,6 mm de la ligne de fond de filetage. Préférentiellement, le capteur
15 (4) est situé à une distance d'au plus 5 mm de la ligne de fond de filetage. Par distance il est fait ici référence à la distance d'un point à une droite et correspond donc à la plus courte distance entre un point et un point courant de la droite, soit la plus courte distance entre le capteur et un point de la ligne de fond de filet du filetage.

20 Une connexion comportant plusieurs étages de filetage peut avoir une ligne de fond de filetage si les étages de filets sont alignés, ou chacun avoir sa ligne de fond de filetage lorsque les étages de filets ne sont pas alignés.

Ainsi, un capteur (4) peut être agencé pour mesurer des
25 contraintes, des forces ou températures s'exerçant dans le filetage, par exemple pour mesurer des contraintes de cisaillement à la base des dents du filetage. En effet, le capteur ayant une orientation donnée, donc une composante des contraintes connue, une distance prédéterminée de la base d'une dent du filetage, et la géométrie des
30 dents étant connue, il est possible de déterminer une contrainte s'exerçant à la base de la dent du filetage considérée à partir d'une contrainte mesurée par le capteur (4).

Butée

Selon un troisième mode de réalisation représenté en figure 6, la connexion comprend une portion réalisée par fabrication additive (3) un capteur (4) et une surface de butée (6), le capteur (4) étant situé à une distance prédéterminée de la surface de butée (6) et agencé pour mesurer une grandeur physique liée à la surface de butée (6).
5 Préférentiellement, le capteur (4) est à une distance D substantiellement axiale d'au moins 1 mm de la surface de butée (6) et d'au plus 7 mm. La distance du capteur à la surface de butée est généralement plus élevée que dans le cas des autres surfaces fonctionnelles car les forces mises en jeu au niveau d'une surface de butée sont plus élevées que pour les autres surfaces fonctionnelles.
10

De manière analogue aux autres modes de réalisation, la mesure d'une contrainte au niveau du capteur (4) permet de déterminer une contrainte correspondante au niveau de la surface de butée. Ceci permet par exemple de détecter des cas de risques de plastification de la butée, ou encore lorsque le capteur est équipé d'une mémoire et d'un compteur de dépassement d'un seuil prédéterminé, le comptage du nombre de cycles de mise en contrainte de la surface de la butée.
15

Diamètre intérieur

Selon un quatrième mode de réalisation représenté en figure 7, la connexion est une connexion mâle et comprend une portion réalisée par fabrication additive (3) agencée pour loger un capteur (4) et une surface intérieure (81), le capteur (4) est situé à une distance prédéterminée de la surface intérieure (81) et agencé pour mesurer une grandeur physique liée à la surface intérieure (81). La portion réalisée par fabrication additive sépare le capteur (4) de la surface intérieure (81). La portion réalisée par fabrication additive comprend une partie de la surface intérieure (81). Préférentiellement, le capteur (4) est à une distance D substantiellement radiale d'au moins 0,6 mm de la surface intérieure, afin de protéger le capteur (4) de l'usure qui peut se produire en service sur la surface intérieure (81).
20
25
30 Préférentiellement, le capteur (4) est à une distance inférieure ou égale à 7mm de la surface intérieure (81).

L'ensemble des quatre modes de réalisation ne sont pas exclusifs l'un par rapport à l'autre, ils peuvent parfaitement être combinés un à un ou tous ensemble.

5 La figure 8 représente une variation combinant plusieurs modes de réalisation décrits, avec un joint dans lequel la connexion femelle 2 comprend deux zones ajoutées par fabrication additive (3a, 3b) agencées pour loger deux capteurs (4a, 4b) respectivement placés à une distance prédéterminée d'une surface de butée femelle (9) et d'une surface d'étanchéité (7). Le capteur (4b) à proximité de la surface
10 d'étanchéité (7) est relié à une électronique de traitement (22) et une électronique de transmission (23) situés à proximité de la surface extérieure (25).

Selon un autre aspect de l'invention, le capteur (4) peut être relié à une électronique de traitement (22) et/ou une électronique de
15 transmission (23). Ces électroniques de traitement et/ou de transmission (22, 23) peuvent être disposées à proximité du ou des capteurs, ces électroniques peuvent être implantées dans un même boîtier d'un capteur intégré.

Lorsqu'une partie au moins de ces électroniques (22, 23) est
20 située à distance du ou des capteurs (4), la connexion peut comprendre des pistes conductrices d'électricité, particulièrement des fils conducteurs isolés positionnés dans des logements aménagés et dont une portion de paroi est réalisée par fabrication additive. Ces conducteurs peuvent déboucher préférentiellement à proximité d'un
25 filet imparfait, ou à proximité d'une poche à graisse, ou encore sur une surface intérieure dans le cas d'une connexion mâle, ou une surface extérieure dans le cas d'une connexion femelle ou d'un manchon. Ces agencements subissent de plus faibles sollicitations mécaniques que les filets parfaits, les surfaces d'étanchéité ou les
30 butées.

Electronique

Une électronique de traitement (22) comprend un circuit agencé pour recevoir en entrée un signal électrique en provenance du capteur et émettre en sortie un signal représentatif de la grandeur

mesurée par le capteur modifiée par un facteur de transformation k . Ce facteur de transformation k peut être prédéterminé de façon à tenir compte de la position du capteur, sa profondeur ou distance par rapport à la surface fonctionnelle visée, la présence d'éléments complémentaires tels qu'une plaque de protection (8), cette dernière pouvant introduire une discontinuité dans la matière et perturber la répartition de contraintes mécaniques ou de températures dans le volume de la pièce. Le facteur de transformation k peut être linéaire. Le facteur de transformation peut être non linéaire. De préférence, le facteur de transformation est déterminé par un étalonnage effectué sur la base d'un modèle de connexion, d'une configuration de capteur et d'implantation dudit capteur. Avec une profondeur d'implantation suffisante, la variation des valeurs de contraintes en fonction de la profondeur est plus faible et permet d'obtenir une bonne répétabilité des mesures d'une connexion équipée d'un capteur à une autre ayant la même configuration. Il est donc possible de calibrer le capteur et l'électronique de traitement (22) à partir d'un modèle étalon.

Méthode d'obtention

Selon un aspect, l'invention est aussi une méthode d'obtention d'une connexion équipée d'au moins un capteur dans laquelle un premier usinage d'un élément tubulaire est réalisé, par fraisage ou tournage.

Le premier usinage peut être un logement, sous la forme d'un évidement ou une rainure faite à partir d'un élément tubulaire obtenu après perçage de celui-ci, ou après une éventuelle étape de conification, que l'on désigne sous le terme corps de connexion.

Ensuite une deuxième étape de montage comprend les actions de mettre en place un ou plusieurs capteurs (4), éventuellement disposés près d'une ou plusieurs plaques de protection thermique.

Une troisième étape est de disposer de la matière par fabrication additive par-dessus le ou les capteurs (4) et de manière à combler l'évidement ou la rainure usinée. Dans le cas d'une rainure circonférentielle, le dépôt de matière par fabrication additive peut se faire avec une tête d'impression non tournante et un tube tournant.

Une quatrième étape comprend l'usinage complémentaire de la connexion pour réaliser une surface fonctionnelle dont une partie au moins de l'usinage se fait dans la matière ajoutée par fabrication additive, la surface fonctionnelle étant choisie parmi une portée
5 d'étanchéité, une butée, une surface intérieure ou extérieure, un filetage.