

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②② Date de dépôt : 6 mai 1985.

③③ Priorité : AU, 7 mai 1984, n° PG 4865 et 20 février 1985, n° PG 9368.

④③ Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 45 du 8 novembre 1985.

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦① Demandeur(s) : Société dite : *BELL-IRH PROPRIETARY LIMITED, société régie par les lois en vigueur en Australie.* — AU.

⑦② Inventeur(s) : Noel Arthur Burley.

⑦③ Titulaire(s) :

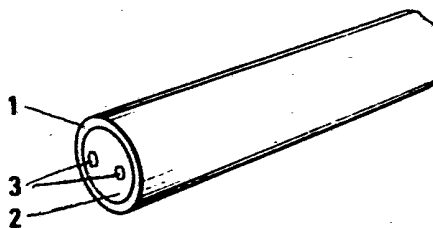
⑦④ Mandataire(s) : Cabinet Orès.

⑤④ Câbles stables à haute température et dispositifs comportant de tels câbles.

⑤⑦ Câble à gainage intégral et à isolation minérale compactée.

Ce câble comprend au moins un thermoélément 3 composé d'un alliage de type N et la gaine 1 est composée d'un alliage ayant des caractéristiques sanitaires à celles de l'alliage dont est composé le ou au moins un thermoélément. La gaine est de préférence composée d'un alliage de type N de signe contraire à celui dont est composé le thermoélément le plus voisin de la gaine.

Éléments chauffants résistifs convenant à l'utilisation aux hautes températures; thermocouples; détecteurs de chaleur utilisables à des températures supérieures à 1 100 °C environ; sondes de température à stagnation, lesquels dispositifs comprennent au moins un câble tel que défini ci-dessus.



La présente invention se rapporte à des câbles électriquement conducteurs, y compris des câbles de thermocouple, et elle vise également des capteurs à thermocouple comportant les dits câbles de thermocouple. Les câbles électriquement conducteurs suivant l'invention comprennent également des détecteurs de chaleur et des éléments chauffants qui sont particulièrement utiles aux hautes températures.

L'invention utilise des alliages à base de nickel, notamment les alliages qui sont utilisés dans le système de thermocouple appelé "type N" par des offices de normalisation tels que Instrument Society of America, American Society for Testing and Materials, Commission Electrotechnique Internationale et British Standards Institution.

Dans un premier aspect, l'invention procure des câbles de thermocouple à base de nickel, et des capteurs à thermocouple à base de nickel fabriqués au moyen de ces câbles, qui ont une meilleure résistance à l'oxydation, une plus grande longévité et une plus grande stabilité thermoelectrique pendant de plus longues durées et dans une plage de températures plus élevées atteignant 1300°C, comparative-ment aux câbles existants à base de métal et aux capteurs du même type général.

L'invention procure également des câbles électriquement conducteurs qui sont appropriés à l'utilisation comme détecteurs de chaleur et éléments chauffants.

On utilise les alliages à base de nickel comme thermocouples depuis le début de ce siècle. L'un des thermocouples couramment utilisés est le thermocouple de type K, ainsi désigné par l'Instrument Society of America. Le thermo-élément positif de type K est un alliage à base de nickel contenant 9,25% en poids de chrome et 0,4% en poids de silicium, le complément étant essentiellement du nickel. Le thermoélément négatif de type K est un alliage à base de nickel contenant 3% en poids de manganèse, 2% en poids d'aluminium, 1% en poids de silicium, avec de petites quantités de

fer et de cobalt, le complément étant essentiellement du nickel.

Le thermocouple de type K est recommandé pour être utilisé dans une atmosphère d'air. Aux températures plus élevées, le thermocouple de type K ne convient pas, à cause de sa résistance relativement mauvaise à l'oxydation. Une façon par laquelle on essaie de vaincre cette difficulté consiste à incorporer le thermocouple de type K dans un ensemble de capteur à thermocouple à isolement céramique compacté.

De façon connue, une première phase de la fabrication de tels capteurs à thermocouple consiste à préparer le câble appelé "MI", à isolation minérale, qui comprend une gaine contenant un ou plusieurs fils conducteurs ou thermoéléments isolés de la gaine (et les uns des autres lorsqu'on utilise deux fils conducteurs ou davantage) par une matière minérale isolante compactée.

Le câble de type MI, représenté sur la figure 1 des dessins annexés, est de type usuel comprenant une gaine 1, un isolant compacté 2 et des fils conducteurs (thermoéléments) 3. D'autres détails de la fabrication de ce câble sont indiqués dans l'exemple 1 décrit plus loin.

Pour fabriquer un capteur effectif au moyen de ce câble, on coupe le câble et on dénude les extrémités des conducteurs par enlèvement d'une partie de leur isolation. On relie ensuite les extrémités dénudées des conducteurs, pour former une thermojonction, ce qui peut être effectué par exemple par sertissage et/ou soudage.

On peut laisser la thermojonction simplement dénudée, pour l'utilisation dans des ambiances appropriées, ou bien on peut la protéger en fermant la gaine sur la thermojonction, avec ou sans isolant.

Ce dernier type de capteur à thermocouple est devenu d'emploi courant car il isole les fils de thermocouple des ambiances qui pourraient provoquer une détérioration

rapide et il procure une excellente isolation à haute température pour les fils conducteurs du thermocouple. La gaine peut être réalisée en une matière qui est en principe compatible avec les environnements et les processus dans lesquels on doit l'utiliser et qui assure une protection mécanique. Il existe de nombreux fournisseurs de thermocouples de type K, à gaine intégrale et à isolation par céramique compactée.

Aux températures supérieures à 1050°C, les types connus de câbles à gainage intégral et à isolation en céramique compactée, ainsi que les thermocouples comportant ces câbles, sont mis prématurément hors d'usage à cause de facteurs indiqués ci-après:

(i) les matières dans lesquelles leurs gaines sont réalisées, par exemple inconel et acier inoxydable, sont détériorées du fait de l'oxydation ou d'une autre interaction accélérée avec leur environnement gazeux;

(ii) les alliages individuels du thermocouple de type K sont détériorés du fait de l'oxydation accélérée par l'air résiduel à basse pression contenu dans l'isolation céramique compactée;

(iii) les fils conducteurs ou thermoéléments sont détériorés mécaniquement du fait des efforts alternés substantiels imposés pendant les cycles thermiques. Ces efforts sont engendrés principalement par des contraintes longitudinales dues aux coefficients de température sensiblement différents de dilatation linéaire des matières de la gaine et des thermoéléments. Des valeurs moyennes courantes de ces coefficients de dilatation sont :

Composant	Matière	$\times 10^{-6} . ^\circ \text{C}^{-1}$ (1100°C)
gaine	acier inoxydable	20
thermoalliages	type K	17

(iv) les alliages du thermoélément sont contaminés par la dissolution d'éléments étrangers provenant d'un alliage de gaine différent, par diffusion thermique à travers la

matière isolante compactée. Ces éléments, par exemple Mn, Fe, Mo, Cu, provoquent des changements sensibles de la force thermoélectromotrice du thermocouple;

- (v) la composition des fils conducteurs des thermo-
5 éléments est altérée par exposition du thermocouple à une irradiation nucléaire prolongée, qui entraîne une transmutation d'un ou plusieurs éléments dans l'alliage.

En conséquence, il existe un besoin pour un nouveau câble intégral à isolation en céramique compactée,
10 convenant comme élément chauffant ou pour la production de capteurs à thermocouple, qui est sensiblement exempt des effets de dégradation décrits ci-dessus et qui possède une stabilité thermoélectrique et à l'environnement améliorée, à des températures dépassant sensiblement 1050°C.

- 15 On considère donc qu'un nouveau câble à gainage intégral et à isolation en céramique compactée, sensiblement exempt d'influences entraînant sa dégradation telles qu'oxydation accélérée, contraintes thermiques différentielles, contamination croisée par diffusion, et transmutations,
20 et qui possède une résistance améliorée aux interactions de l'environnement et aux dérives de la force électromotrice thermique et de la résistivité, à des températures atteignant 1300°C dans de nombreuses atmosphères différentes, constitue un progrès dans ce domaine.

- 25 C'est également un progrès que certaines causes d'instabilité thermoélectrique dont souffrent les transducteurs à thermocouple usuel à base de métal, c'est-à-dire

oxydation accélérée, disposition structurelle proche non homogène, transmutations nucléaires et transformations magnétiques, sont pratiquement éliminées dans le nouveau
30 capteur à thermocouple suivant la présente invention. Cela est dû à ce que les compositions des fils conducteurs de thermoéléments de type N, incorporés dans le nouveau capteur à thermocouple intégral à isolation en céramique compactée, permettent de supprimer pratiquement les dérives de
35

la force thermoélectromotrice dues à l'oxydation, en particulier l'oxydation interne, et aux effets de proximité, ne contiennent pas de composants à forte transmutation et ont des transformations magnétiques au-dessous des températures ambiantes.

La présente invention a pour objet un câble de thermocouple intégral métallique à isolation compactée, et un capteur à thermocouple, qui sont thermoélectriquement stables jusqu'à 1300°C. L'invention vise également un câble de thermocouple intégral métallique à isolation compactée, et un capteur à thermocouple, qui sont très résistants à l'oxydation jusqu'à 1300°C.

L'invention a également pour objet des câbles électriquement conducteurs et des éléments chauffants qui présentent des avantages semblables, aux hautes températures.

L'invention a encore pour objet des câbles électriquement conducteurs et des détecteurs de chaleur qui présentent des avantages semblables, aux hautes températures.

Ces divers buts de la présente invention sont atteints, dans un premier aspect de l'invention, par utilisation de deux alliages spécifiques, et de certaines variantes de composition de ces alliages, comme matières de gaine. Les dits alliages sont similaires à ceux qui conviennent pour l'utilisation comme thermoéléments positif et négatif du thermocouple. Les tolérances de composition chimique (pourcentages en poids) pour les constituants d'addition des alliages pour les thermoéléments positifs et négatifs des conducteurs de thermocouple sont :

<u>Alliage positif</u>	<u>Elément</u>	<u>Alliage négatif</u>
14,2 + 0,15	Cr	0,02 max.
1,4 + 0,05	Si	4,4 + 0,2
0,1 + 0,03	Fe	0,1 + 0,03
0,03 max.	C	0,03 max.
	Mg	0,1 + 0,05
35 Complément	Ni	complément

Les thermocouples de ces alliages sont appelés "type N" par l'Instrument Society of America et les autres organismes semblables.

Le premier alliage de gaine conforme à l'invention est essentiellement constitué de :

(a) de 13,0% environ en poids à 15,0% environ en poids de chrome, de 1,0% environ en poids à 2,0% environ en poids de silicium, de 0,03% environ en poids à 0,25% environ en poids de magnésium, le complément étant du nickel.

Le deuxième alliage de gaine conforme à l'invention est essentiellement constitué de :

(b) de 3,0% environ en poids à 5,0% environ en poids de silicium, de 0,03% environ en poids à 0,25% environ en poids de magnésium, le complément étant du nickel.

Les matières isolantes réfractaires pour le capteur à thermocouple intégral métallique à isolant compacté comprennent l'oxyde de magnésium, l'oxyde de béryllium, l'oxyde d'aluminium, l'oxyde de zirconium et d'autres oxydes réfractaires appropriés.

La présente invention a également pour objet plusieurs applications du nouveau dispositif. L'une de ces applications se rapporte à la mesure de la température de gaz en mouvement, comme on en rencontre dans les turbines à gaz, les conduits, tuyaux, cheminées et autres espaces confinés destinés à véhiculer des gaz.

Si on essaie d'utiliser un élément de capteur solide ou une sonde pour mesurer des températures dans une masse de gaz en mouvement par rapport à l'élément ou à la sonde, il se produit un effet d'échauffement dû à la compression adiabatique de la couche gazeuse contiguë à la surface de la sonde sensible, ce qui provoque une erreur de mesure de température élevée. Cette difficulté est habituellement combattue par l'emploi d'une "sonde de température à stagnation". Des constructions de base d'une telle sonde sont illustrées à titre d'exemple par la figure 2

annexée, sur laquelle les composants sont :

- a, h fils conducteurs de thermoéléments
- b,i,n composants du tube de stagnation
- c matière plastique
- 5 d vis de blocage
- e,m thermojonction de mesure
- f,l trous d'évent
- g ajustement serré
- j tube de silice
- 10 k ciment.

Le dispositif comprend habituellement une tige qui fait saillie dans le flux de gaz et comporte à son extrémité une jonction thermoélectrique placée dans une sorte de capuchon ou de coupelle. La jonction thermoélectrique se trouve dans la "zone de stagnation" de l'écoulement turbulent de gaz créé par ce capuchon et ses orifices associés. En général, ces dispositifs sont caractérisés par des étranglements de l'écoulement, appropriés à interrompre presque l'écoulement du gaz à l'endroit de la jonction thermoélectrique de mesure. L'idée est d'obtenir la lecture de température qui se produirait s'il n'y avait pas de vitesse relative entre le gaz et la sonde de détection, c'est-à-dire la température qui règnerait en l'absence de la sonde thermoélectrique à stagnation.

25 Les thermocouples à sonde de stagnation, en particulier ceux qui sont utilisés pour mesurer les températures de gaz dans des moteurs à turbine à gaz de caractéristiques poussées, souffrent de plusieurs sources d'erreur inhérentes, en plus de celle attribuée plus haut à la compression adiabatique. Comme exemples de ces sources d'erreur supplémentaires, on peut citer la dérive de la force électromotrice thermique dans les alliages de thermocouple à base de métal, du fait de la corrosion à haute température, la catalyse de mélanges air/combustible incomplètement brûlés par
35 les thermocouples usuels à métal rare, et le rayonnement

thermique vers et venant des thermojonctions de mesure du thermocouple, en provenance et vers les surfaces internes de la capacité contenant le gaz.

Ces erreurs de la mesure de température, qui
5 s'ajoutent à l'erreur de compression adiabatique, sont sensiblement éliminées par utilisation de thermocouples de type N comme capteur de température incorporé dans la sonde à stagnation, et plus particulièrement de thermocouples de type N sous la forme du capteur à thermocouple intégral
10 compacté suivant la présente invention.

Une telle sonde de température à stagnation, comportant un thermocouple de type N, sous la forme d'un thermocouple à fil nu ou d'un capteur à thermocouple intégral compacté suivant l'invention, constitue un progrès sensible
15 de la technique. Un autre progrès consiste à utiliser un des alliages spécifiés (a), (a1), (a2), (a3), (b), (b1), (b2), (b3) ci-après, comme tube de stagnation de la sonde à stagnation, à la place de l'un des aciers inoxydables ou de l'un des autres alliages habituellement utilisés.

20 Une autre application du nouveau dispositif se rapporte à la détection, à la détermination de la position et à la surveillance de sources prévues ou imprévues de chaleur, comme on peut en rencontrer dans des machines, des espaces de stockage tels que réservoirs, fours, silos,
25 etc., des canalisations, des bâtiments, des instruments, des navires, des aéronefs, des réacteurs nucléaires et en beaucoup d'autres endroits. De tels dispositifs, qui sont semblables sous de nombreux aspects à la construction du câble MI à isolation minérale usuel décrit plus haut, sont bien connus. Une différence essentielle est que l'isolation compactée de façon dense possède des propriétés isolantes comportant un coefficient de température négatif élevé pour la
30 résistance, comme illustré dans son principe par la figure 3.

Les sources locales naissantes de chaleur sont
35 détectées par ce dispositif, car la conductivité de l'isola-

tion compactée au voisinage de telles sources augmente dans la plage de température atteignant 900°C environ, ce qui provoque un court-circuit local des conducteurs thermoélectriques de manière à constituer une thermojonction de mesure locale. Cet effet réversible permet de déterminer et de surveiller la position, l'intensité et la durée d'une source de chaleur temporaire.

Malheureusement, les détecteurs de chaleur usuels de ce type présentent la même tendance à une défaillance prématurée, pour les mêmes causes qui agissent sur les câbles à isolation minérale du type usuel lorsqu'ils sont exposés à des températures élevées pendant une longue durée. Les nouveaux capteurs de chaleur fabriqués à partir d'alliages de type N, conformément à la présente invention, constituent un progrès sensible dans la technique, en ce qu'ils sont pratiquement exempts des effets de dégradation décrits plus haut pour le câble à isolation minérale usuel. Le fait que les nouveaux détecteurs de chaleur soient pratiquement exempts de transmutations nucléaires est particulièrement intéressant, car ils conviennent donc à l'utilisation dans des réacteurs nucléaires pendant des durées importantes. Les détecteurs de chaleur usuels du type à câble à isolation minérale ne sont pas exempts d'effets de transmutation.

Les détecteurs de chaleur usuels présentent des défaillances électriques lorsqu'ils sont chauffés un certain temps à des températures supérieures à 1100°C environ. Le nouveau détecteur de chaleur supporte des températures atteignant 1300°C, telles que celles qui peuvent résulter du contact direct de la flamme, pendant de longues durées.

Une autre application du nouveau dispositif se rapporte à des éléments de chauffage par résistance tels que ceux qui sont utilisés pour élever la température d'enceintes chauffées, par exemple foyers, fours, bains, etc. et autres espaces. De tels dispositifs de chauffage, qui

sont de construction semblable sous de nombreux aspects à celle du câble usuel à isolation minérale décrit plus haut, sont bien connus. Une différence essentielle est que les éléments conducteurs sont fabriqués en alliage usuel pour résistance, tel que le "nichrome" (nichrome est un nom commercial de Driver-Harris Company de Grande-Bretagne, Italie, France, Australie et Etats-Unis) qui fournit un chauffage par résistance lors du passage d'un courant électrique.

Malheureusement, les éléments chauffants usuels de ce type présentent la même tendance à une défaillance prématurée, pour les mêmes causes qui agissent sur les câbles à isolation minérale du type usuel. Les nouveaux éléments chauffants fabriqués en alliages de type N, conformément à la présente invention, constituent un progrès sensible dans la technique, en ce qu'ils sont pratiquement exempts des effets de dégradation décrits plus haut pour le câble usuel à isolation minérale. Il est fortuit que la résistivité et le coefficient de température pour la résistance des alliages positifs de type N soient comparables à ceux du nichrome. Ces alliages de type N peuvent donc être utilisés très efficacement comme élément de chauffage par résistance à des températures élevées, dans la nouvelle invention.

25	Alliage	Résistivité	Coefficient de température
		à 20°C	de la résistance
		($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	($\Omega \cdot \Omega^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)
	nichrome	110	- 0,00004) + 0,00007)*
	N positif	95	+ 0,00011

*Publications différentes.

Ces caractéristiques ont pour effet net de rendre la résistivité d'un alliage N positif comparable à celle du nichrome aux températures élevées.

Outre les dispositions qui précèdent, l'invention comprend encore d'autres dispositions qui ressortiront de la

description qui va suivre. L'invention sera mieux comprise à l'aide du complément de description ci-après, avec référence aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 illustre un câble usuel à isolation
5 minérale contenant deux fils conducteurs ou thermoéléments;

la figure 2 illustre deux constructions de base pour des sondes de température à stagnation ; et

la figure 3 illustre le coefficient de température négatif élevé de la résistance de l'isolation compactée de
10 façon dense, dans des détecteurs de chaleur conformes à l'invention.

Il doit être bien entendu toutefois que ces dessins et les parties descriptives sont donnés uniquement à titre d'illustration de l'objet de l'invention dont ils ne
15 constituent en aucune manière une limitation.

Le capteur à thermocouple intégral suivant la présente invention possède une excellente résistance à l'oxydation et une excellente stabilité thermoélectrique à des températures atteignant 1300°C. On a constaté que les alliages
20 suivant l'invention varient très peu à la fois en production de force électromotrice thermique et en degré d'oxydation, même après 1000 heures environ d'exposition à 1250°C. Comparativement aux thermoalliages usuels de type K et aux alliages de gaine en inconel et en acier inoxydable, matières qui
25 sont habituellement utilisées dans les capteurs existants à thermocouple intégral compacté, le capteur à thermocouple intégral compacté conforme à la présente invention, comportant les thermoéléments spécifiés de type N et les gaines d'alliages (a) et (b) décrits plus haut, possède une stabilité
30 thermoélectrique et à l'environnement nettement améliorée, à un degré qui n'a pas pu être atteint jusqu'à présent avec les alliages de métal de base utilisés dans l'art antérieur.

Les alliages conducteurs thermoélectriques
35 s e l o n la présente invention comprennent essentielle-

ment les alliages de type N spécifiés plus haut. Les alliages de gaine selon la présente invention, comprennent essentiellement les compositions d'éléments (a) et (b) décrites plus haut. Les compositions préférées du type (a) sont constituées essentiellement de :

(a1) de 13,9% environ en poids à 14,5% environ en poids de chrome, de 1,3% environ en poids à 1,5% environ en poids de silicium, de 0,05% environ en poids à 0,20% environ en poids de magnésium, le complément étant du nickel, ou de préférence

(a2) de 14,05% environ en poids à 14,35% environ en poids de chrome, de 1,35% environ en poids à 1,45% environ en poids de silicium, de 0,10% environ en poids à 0,20% environ en poids de magnésium, environ 0,15% en poids de fer au maximum, environ 0,05% en poids de carbone au maximum, le complément étant du nickel.

Une composition préférée spécifique de type (a) est constituée essentiellement, dans les limites usuelles de tolérance de fabrication, de :

(a3) 14,2% en poids de chrome,
1,4% en poids de silicium,
0,1% en poids de fer,
0,03% en poids de magnésium,
le complément étant du nickel.

Les compositions préférées de type (b) comprennent essentiellement :

(b1) de 4,0% environ en poids à 4,8% environ en poids de silicium, de 0,05% environ en poids à 0,20% environ en poids de magnésium, le complément étant du nickel, ou de préférence

(b2) de 4,2% environ en poids à 4,6% environ en poids de silicium, de 0,10% environ en poids à 0,20% environ en poids de magnésium, 0,05% environ en poids de chrome au maximum, 0,15% environ en poids de fer au maximum, 0,05% environ en poids de carbone au maximum, le complément étant

du nickel.

Une composition préférée spécifique de type (b) est constituée essentiellement, dans les limites usuelles de tolérance de fabrication, de :

- 5 (b3) 4,4% en poids de silicium,
0,1% en poids de fer,
0,1% en poids de magnésium,
le complément étant du nickel.

Il est clairement entendu que, lorsque le câble
10 contient un seul thermoélément, la matière de gaine la plus préférable est l'alliage thermoélectriquement opposé audit seul thermoélément. Dans ce cas, on constitue un capteur par jonction du thermoélément à la gaine. Lorsqu'on utilise plus d'un thermoélément et que les thermoéléments sont en
15 alliages dissemblables, la matière de gaine est de préférence dans le même alliage que l'un quelconque des thermoéléments.

Dans une autre variante de l'invention, particulièrement applicable dans les environnements hostiles
20 tels que ceux qu'on rencontre dans les industries chimiques et pétrolières, la gaine peut être fabriquée en matière appropriée résistant à la corrosion.

L'invention est illustrée ci-après de façon plus détaillée, par des exemples non limitatifs.

25 EXEMPLE 1

On fabrique le câble de thermocouple intégral compacté de cet exemple, par des procédés de fabrication connus. Au départ, on entoure des fils de thermoéléments, thermoélectriquement accordés, par une matière céramique isolante non compactée contenue dans un tube métallique. Par laminage, étirage, estampage ou autre procédé de réduction mécanique, on réduit le diamètre du tube et l'isolation est compactée autour des fils. On règle les paramètres des procédés de fabrication de sorte que les rapports du diamètre
30 tre de gaine au calibre du fil et à l'épaisseur de paroi de

gaine assurent un équilibre entre une épaisseur de paroi maximale et une distance d'isolation appropriée, afin d'obtenir une résistance d'isolement efficace aux températures élevées.

- 5 Une caractéristique importante du procédé de fabrication est qu'il faut apporter beaucoup d'attention à la propreté initiale et à la pureté chimique des composants, ainsi qu'au maintien d'un haut degré de propreté et de siccité pendant toute la fabrication. Comme déjà indiqué, pour
10 fabriquer un capteur effectif à partir de ce câble, on coupe celui-ci et on dénude les extrémités des conducteurs par enlèvement d'une partie de l'isolation. Les extrémités dénudées des conducteurs sont ensuite reliées pour constituer une thermojonction, ce qui peut être effectué par exemple
15 par sertissage et/ou soudage.

La thermojonction peut simplement être laissée nue, pour l'utilisation dans des ambiances appropriées, ou bien elle peut être protégée par rabattement de la gaine sur la thermojonction, avec ou sans isolant. La thermojonc-
20 tion de mesure du thermocouple est en général, mais pas toujours, isolée électriquement de l'extrémité de la gaine.

Dans cet exemple, les alliages pour les fils conducteurs du thermocouple sont ceux qui sont spécifiés plus haut comme type N et l'alliage pour la gaine est celui qui
25 est spécifié en (a) ci-dessus.

Un caractère important du produit fini de cet exemple est que la similarité essentielle entre les propriétés de l'alliage de gaine et les alliages des conducteurs du thermocouple supprime pratiquement les influences
30 destructrices de contamination du thermocouple par diffusion croisée, défaillance mécanique due à des contraintes thermiques différentielles, et oxydation accélérée au-dessus de 1050°C environ. Les contraintes provoquées par des efforts longitudinaux engendrés pendant les cycles thermiques sont faibles, à cause des très petites différences
35

dans les coefficients de température de dilatation linéaire entre les matières de la gaine et des conducteurs de thermoéléments. Des valeurs moyennes courantes de ces coefficients de dilatation sont :

5	<u>Composant</u>	<u>Matière</u>	<u>$\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (1200°C)</u>
	gaine	alliage (a) ci-dessus	17,5
	thermoalliage	type N	17,0 (moyenne des éléments positif et négatif).

10 EXEMPLE 2

Le câble de thermocouple intégral compacté et le capteur de cet exemple sont les mêmes que ceux de l'exemple 1, sauf en ce que l'alliage pour la gaine est celui qui est spécifié en (a1) ci-dessus, au lieu de l'alliage spécifié

15 en (a) ci-dessus.

EXEMPLE 3

Le câble de thermocouple intégral compacté et le capteur de cet exemple sont les mêmes que dans l'exemple 1, sauf en ce que l'alliage pour la gaine est celui qui est

20 spécifié en (a2) ci-dessus, au lieu de l'alliage spécifié en (a) ci-dessus.

EXEMPLE 4

On fabrique un câble de thermocouple intégral compacté, comme dans l'exemple 1, la composition des com-

25 posants étant :

thermoélément positif	- alliage (a3)
thermoélément négatif	- alliage (b3)
gaine	- alliage (a3).

EXEMPLES 5 à 8

30 Les câbles de thermocouple de ces exemples sont les mêmes, respectivement, que ceux qui sont décrits dans les exemples 1 à 4, sauf en ce que les alliages de gaine sont renforcés par addition d'un ou plusieurs composants connus en vue d'augmenter la résistance mécanique de ces
35 alliages à haute température, par exemple ou plusieurs

des éléments comprenant le manganèse, le fer, le molybdène, le cobalt, le tungstène et des dispersions de particules d'oxyde.

EXEMPLES 9 à 16

Les câbles de thermocouple intégral compacté et
5 les capteurs de ces exemples sont les mêmes, respectivement, que ceux qui sont décrits dans les exemples 1 à 8, sauf en ce que les alliages de gaine sont revêtus pour empêcher encore davantage la dégradation par corrosion chimique à haute température. Ces revêtements comprennent des
10 dépôts par une grande variété de procédés usuels de revêtement de protection, par exemple dépôt électrolytique à partir d'une solution aqueuse ou de sels fondus ou d'autres liquides électrolytiques, ou des procédés de diffusion métallique notamment d'aluminium, de chrome, ou des procédés
15 similaires tels que des revêtements de finition ou autres.

EXEMPLE 17

Le câble de thermocouple intégral compacté et le capteur de cet exemple sont les mêmes que ceux qui sont décrits dans l'exemple 1, sauf en ce que l'alliage de gaine
20 est celui qui est spécifié ci-dessus en (b), au lieu de l'alliage spécifié ci-dessus en (a).

EXEMPLE 18

Le câble de thermocouple intégral compacté et le capteur de cet exemple sont les mêmes que dans l'exemple 1,
25 sauf en ce que l'alliage de gaine est celui qui est spécifié en (b1) ci-dessus, au lieu de l'alliage spécifié en (a) ci-dessus.

EXEMPLE 19

Le câble de thermocouple intégral compacté et le
30 capteur de cet exemple sont les mêmes que dans l'exemple 1, sauf en ce que l'alliage pour la gaine est celui qui est spécifié en (b2) ci-dessus, au lieu de l'alliage spécifié en (a) ci-dessus.

EXEMPLE 20

35 Le câble de thermocouple intégral compacté de cet

exemple est le même que dans l'exemple 4, sauf en ce que la gaine est en alliage (b3) au lieu d'alliage (a3).

EXEMPLES 21 à 24

Les câbles de thermocouple intégral compacté et
5 les capteurs de ces exemples sont les mêmes, respectivement,
que ceux qui sont décrits dans les exemples 17 à 20, sauf
en ce que les alliages de gaine contiennent en addition
jusqu'à 1,0% en poids d'un ou plusieurs éléments connus
pour l'inhibition du grossissement de grain métallurgique,
10 se produisant à haute température, par exemple le niobium
ou le titane.

EXEMPLES 25 à 28

Les câbles de thermocouple intégral compacté et
les capteurs de ces exemples sont les mêmes, respectivement,
15 que ceux qui sont décrits dans les exemples 17 à 20, sauf
en ce que les alliages de gaine contiennent en addition une
quantité appropriée d'un ou plusieurs composants connus
pour accroître la résistance mécanique de ces alliages à
haute température, par exemple manganèse, fer, molybdène,
20 cobalt, tungstène et dispersions de particules d'oxyde.

EXEMPLES 29 à 32

Les câbles de thermocouple intégral compacté et
les capteurs de ces exemples sont les mêmes que ceux qui
sont décrits, respectivement, dans les exemples 17 à 20,
25 sauf en ce que les alliages de gaine contiennent en addi-
tion jusqu'à 1,0% en poids d'un ou plusieurs éléments con-
nus pour inhiber le grossissement de grain métallurgique
se produisant à haute température, par exemple niobium ou
titane, et également une quantité appropriée d'un ou plu-
30 sieurs composants connus pour accroître la résistance mé-
canique de ces alliages à haute température, par exemple
manganèse, fer, molybdène, cobalt, tungstène et dispersions
de particules d'oxyde.

EXEMPLES 33 à 48

35 Les câbles de thermocouple intégral compacté et

les capteurs de ces exemples sont les mêmes, respectivement que ceux qui sont décrits dans les exemples 17 à 32, sauf en ce que les alliages de gaine sont revêtus par l'un quelconque des procédés et pour les buts décrits dans les
5 exemples 9 à 16.

EXEMPLES 49 à 96

On fabrique des détecteurs de chaleur conformes à l'invention, de la même manière que les câbles intégraux compactés des exemples 1 à 48, sauf en ce que l'isolant
10 réfractaire compacté possède des propriétés isolantes avec un coefficient de température négatif élevé de résistance.

EXEMPLES 97 à 576

On fabrique des éléments chauffants conformes à
15 l'invention, de la même manière que les câbles intégraux compactés des exemples 1 à 96, sauf en ce qu'on utilise dans chaque cas un conducteur chauffant résistif unique, ce conducteur étant composé d'un alliage qui est respectivement : de type N positif, (a), (a1), (a2) ou (a3).

20 Ainsi que cela ressort de ce qui précède, l'invention ne se limite nullement à ceux de ses modes de mise en oeuvre qui viennent d'être décrits de façon explicite ; elle en embrasse au contraire toutes les variantes qui peuvent venir à l'esprit du technicien en la matière, sans
25 s'écarter du cadre ni de la portée de la présente invention.

Revendications

1. Câble à gainage intégral et à isolation minérale compactée, caractérisé en ce que le câble comprend au moins un thermoélément (3) composé d'un alliage de type N et en ce que la gaine (1) est composée d'un alliage
5 ayant des caractéristiques similaires à celles de l'alliage dont est composé le ou au moins un thermoélément.

2. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un thermoélément composé d'un alliage de type N positif et un thermoélément composé d'un
10 alliage de type N négatif, et la gaine est composée d'un alliage de type N positif.

3. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un thermoélément composé d'un alliage de type N positif et un thermoélément composé d'un
15 alliage de type N négatif, et la gaine est composée d'un alliage de type N négatif.

4. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un seul thermoélément, ce thermoélément est composé d'un alliage de type N positif et la
20 gaine est composée d'un alliage de type N négatif.

5. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble contient un seul thermoélément, ce thermoélément est composé d'un alliage de type N négatif et la gaine est composée d'un alliage de type N positif.

25 6. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un thermoélément composé d'un alliage de type N positif et un thermoélément composé d'un alliage de type N négatif et la gaine est composée d'un alliage choisi dans le groupe comprenant des compositions
30 (a) et (b) dans lesquelles :

(a) est constituée essentiellement de 13,0% environ en poids à 15,0% environ en poids de chrome, de 1,0% environ en poids à 2,0% environ en poids de silicium, de 0,03% environ en poids à 0,25% environ en poids de magnésium,

le complément étant du nickel ; et

- (b) est constituée essentiellement de 3,0% environ en poids à 5,0% environ en poids de silicium, de 0,03% environ en poids à 0,25% environ en poids de magnésium, le complément étant du nickel.

7. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un thermoélément composé d'un alliage de type N positif et un thermoélément composé d'un alliage de type N négatif et la gaine est composée d'un alliage (a1) constitué essentiellement de 13,9% environ en poids à 14,5% environ en poids de chrome, de 1,3% environ en poids à 1,5% environ en poids de silicium, de 0,05% environ en poids à 0,20% environ en poids de magnésium, le complément étant du nickel.

8. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un thermoélément composé d'un alliage de type N positif et un thermoélément composé d'un alliage de type N négatif et la gaine est composée d'un alliage (a2) constitué essentiellement de 14,05% environ en poids à 14,35% environ en poids de chrome, de 1,35% environ en poids à 1,45% environ en poids de silicium, de 0,10% environ en poids à 0,20% environ en poids de magnésium, environ 0,15% en poids de fer au maximum, environ 0,05% environ en poids de carbone au maximum, le complément étant du nickel.

9. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un thermoélément composé d'un alliage de type N positif et un thermoélément composé d'un alliage de type N négatif et la gaine est composée d'un alliage (a3) constitué essentiellement de 14,2% en poids de chrome, 1,4% en poids de silicium, 0,03% en poids de magnésium, le complément étant du nickel.

10. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un thermoélément composé d'un alliage de type N positif et un thermoélément composé d'un alliage de type N négatif et la gaine est composée d'un all-

liage (b1) constitué essentiellement de 4,0% environ en poids à 4,8% environ en poids de silicium, de 0,05% environ en poids à 0,20% environ en poids de magnésium, le complément étant du nickel.

- 5 11. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un thermoélément composé d'un alliage de type N positif et un thermoélément composé d'un alliage de type N négatif et la gaine est composée d'un alliage (b2) constitué essentiellement de 4,2% environ en
10 poids à 4,6% environ en poids de silicium, de 0,10% environ en poids à 0,20% environ en poids de magnésium, 0,05% environ en poids de chrome au maximum, 0,15% environ en poids de fer au maximum, 0,05% environ en poids de carbone au maximum, le complément étant du nickel.

- 15 12. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un thermoélément composé d'un alliage de type N positif et un thermoélément composé d'un alliage de type N négatif et la gaine est composée d'un alliage (b3) constitué essentiellement de 4,4% en poids de
20 silicium, 0,1% en poids de fer, 0,1% en poids de magnésium, le complément étant du nickel.

13. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble comprend un seul thermoélément, ce thermoélément est composé d'un alliage de type N positif et la gaine
25 est composée d'un alliage choisi dans le groupe comprenant des compositions (b), (b1), (b2) et (b3) respectivement constituées essentiellement de

(b) de 3,0% environ en poids à 5,0% environ en poids de silicium, de 0,03% environ en poids à 0,25% environ en
30 poids de magnésium, le complément étant du nickel ;

(b1) de 4,0% environ en poids à 4,8% environ en poids de silicium, de 0,05% environ en poids à 0,20% environ en poids de magnésium, le complément étant du nickel ;

(b2) de 4,2% environ en poids à 4,6% environ en poids
35 de silicium, de 0,10% environ en poids à 0,20% environ en

poids de magnésium, 0,05% environ en poids de chrome au maximum, 0,15% environ en poids de fer au maximum, 0,05% environ en poids de carbone au maximum, le complément étant du nickel ;

- 5 (b3) 4,4% en poids de silicium, 0,1% en poids de fer, 0,1% en poids de magnésium, le complément étant du nickel.

14. Câble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le câble contient un seul thermoélément, ce thermoélément est composé d'un alliage de type N négatif et la
10 gaine est composée d'un alliage choisi dans le groupe comprenant les compositions (a), (a1), (a2) et (a3) respectivement constituées essentiellement de :

- (a) de 13,0% environ en poids à 15,0% environ en poids de chrome, de 1,0% environ en poids à 2,0% environ en
15 poids de silicium, de 0,03% environ en poids à 0,25% environ en poids de magnésium, le complément étant du nickel ;

- (a1) de 13,9% environ en poids à 14,5% environ en poids de chrome, de 1,3% environ en poids à 1,5% environ en poids de silicium, de 0,05% environ en poids à 0,20% environ en
20 poids de magnésium, le complément étant du nickel ;

- (a2) de 14,05% environ en poids à 14,35% environ en poids de chrome de 1,35% environ en poids à 1,45% environ en poids de silicium, de 0,10% environ en poids à 0,20% environ en poids de magnésium, 0,15% environ en poids de
25 fer au maximum, 0,05% environ en poids de carbone au maximum, le complément étant du nickel ;

- (a3) 14,2% en poids de chrome, 1,4% en poids de silicium, 0,03% en poids de magnésium, le complément étant du nickel.

- 30 15. Élément chauffant résistif convenant particulièrement à l'utilisation aux hautes températures, comprenant un câble suivant la revendication 1, qui contient un ou plusieurs thermoéléments et une gaine, caractérisé en ce que les thermoéléments et la gaine sont composés d'alliages
35 qui peuvent être les mêmes ou différents, et ces alliages

sont choisis dans le groupe comprenant les alliages de type N positif, les alliages de type N négatif et les alliages (a), (a1), (a2), (a3), (b), (b1), (b2) et (b3) définis dans les revendications 13 et 14.

5 16. Câble de thermocouple à gainage intégral et à isolation minérale compactée, caractérisé en ce que le câble comprend au moins un thermoélément composé d'un alliage de type N et la gaine est composée d'un alliage de type N, caractérisé en outre en ce que l'alliage dont est composée la
10 gaine est thermoélectriquement opposé à l'alliage dont est composé le ou au moins un thermoélément.

 17. Détecteur de chaleur utilisable à des températures supérieures à 1100°C environ, caractérisé en ce qu'il comprend un câble allongé à gainage intégral et à isolation
15 minérale compactée comme défini dans la revendication 16, disposé dans un environnement où des élévations locales de température peuvent se produire, provoquant une augmentation locale de la conductivité de la matière isolante, ce détecteur comportant des moyens pour déterminer la position
20 de ladite augmentation locale de conductivité et, par suite, la position de ladite élévation de température.

 18. Sonde de température à stagnation, comportant un thermocouple de type N comme capteur de température caractérisé en ce que ce thermocouple est fabriqué à partir d'un
25 câble tel que défini dans la revendication 1.

 19. Câble détecteur de chaleur ou sonde suivant l'une quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que l'alliage de gaine est renforcé par addition d'un ou plusieurs composants connus pour augmenter la résistance mécanique de
30 ces alliages à haute température.

 20. Câble suivant la revendication 19, caractérisé en ce que lesdits composants sont choisis dans le groupe comprenant le manganèse, le fer, le molybdène, le cobalt, le tungstène et des dispersions de particules d'oxyde.

35 21. Câble détecteur de chaleur, ou sonde suivant l'une

quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que l'alliage de gaine contient en addition un ou plusieurs éléments connus pour inhiber le grossissement de grain métallurgique se produisant à haute température.

- 5 22. Câble suivant la revendication 21, caractérisé en ce que lesdits éléments sont choisis dans le groupe comprenant le niobium et le titane.

- 10 23. Câble détecteur de chaleur ou sonde suivant l'une quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que l'alliage de gaine contient en addition un ou plusieurs composants connus pour augmenter la résistance mécanique de ces alliages à haute température, et un ou plusieurs éléments connus pour inhiber le grossissement de grain métallurgique se produisant à haute température.

- 15 24. Câble suivant la revendication 23, caractérisé en ce que lesdits composants sont choisis dans le groupe comprenant le manganèse, le fer, le molybdène, le cobalt, le tungstène et des dispersions de particules d'oxyde, et lesdits éléments sont choisis dans le groupe comprenant le niobium et
20 le titane.

PLANCHE UNIQUE

