

Gaines de protection pour cannes pyrométriques

Le capteur de température, au cœur de la mesure, constitue l'élément sensible de la chaîne de mesure. Soumis à des contraintes sévères et répétées, il doit être robuste et protégé en conséquence par une gaine de protection afin de lui garantir une durée de vie minimale.

Nombreux sont les procédés industriels faisant appel à la température : chauffage, cuisson, traitement thermique, fusion, ...

Les systèmes de mesure mis en œuvre pour la contrôler et la réguler forment un ensemble complet, la chaîne de mesure thermique.

Le capteur de température constitue l'élément sensible de cette chaîne de mesure.

Soumis à des contraintes sévères et répétées, le capteur de température doit être parfaitement adapté à l'application, en vue de remplir durablement sa fonction. Cela passe bien évidemment par la connaissance de la plage de température que doit tenir le capteur et la température de consigne du procédé, mais cela dépend aussi des conditions spécifiques du procédé en question : nature chimique du milieu à mesurer avec ses contraintes physiques et mécaniques.

Pyro-Contrôle Chauvin Arnoux, expert en fabrication de capteurs industriels, expose dans cet article les choix technologiques contribuant à la robustesse et la durée de vie d'un capteur.

La robustesse

Qualité essentielle d'un capteur, la robustesse nécessite une réflexion particulière car elle présente des aspects multiples.

Quelle est la durée de vie minimum souhaitée pour le capteur ? Quel est le coût en temps d'intervention pour remplacer le capteur ? Quel est le gain généré en augmentation du taux d'utilisation de l'équipement si la gaine de protection du capteur est doublée ? Ces différents paramètres doivent être pris en compte pour déterminer la nature de la protection et sa durée de vie.

Naturellement, c'est la température d'utilisation qui, en premier lieu, implique le choix des matériaux à utiliser pour fabriquer la gaine de protection du capteur.

Les procédés industriels sollicitent également les cannes pyrométriques en abrasion, en pression, en vibration ou en corrosion : les milieux peuvent être réducteurs, oxydants, acides, basiques, sulfureux.

Les cannes pyrométriques nécessitent donc des matériaux adaptés : aciers spéciaux, alliages à base nickel, métaux frittés, matériaux composites, plastiques, céramiques, ...

Une bonne tenue aux vibrations nécessite de tenir compte à la fois de la résistance des matériaux et des fréquences de ces vibrations. Tous les matériaux employés dans la construction des capteurs doivent respecter cette double contrainte. Un autre élément de robustesse est la résistance aux chocs thermiques, fréquemment facteurs de ruptures ou de casses, notamment pour les matériaux céramiques.

Les matériaux de protection

Les gaines de protection ont pour but de soustraire la partie sensible du capteur aux influences indésirables, telles que la pression ou la vitesse d'écoulement d'un fluide, les milieux chimiquement ou mécaniquement agressifs, ou bien, les influences électriques. Chaque cas, nécessite l'emploi d'un matériau adapté, éventuellement renforcé par un revêtement particulier. La protection peut être obtenue par une gaine doublée d'une deuxième gaine afin de répondre à plusieurs paramètres à la fois.

Les gaines métalliques

Les métaux les plus couramment rencontrés sont :

- la fonte poteyée, le fer pur
- les aciers inoxydables, jusqu'à 400 °C
- les aciers réfractaires, jusqu'à 1300 °C
- les alliages à base de base nickel, jusqu'à 1350 °C
- les tubes métalliques revêtus
- les métaux spéciaux, en particulier les métaux précieux

■ Fonte poteyée et fer pur

Les fontes poteyées sont employées dans les fonderies d'aluminium et de métaux non ferreux tels que le zinc. Elles sont de plus en plus remplacées par des gaines céramiques composites (voir ci-après).

■ Aciers inoxydables

Les gaines en acier inoxydable sont essentiellement employées dans les installations chimiques. En plus de la résistance mécanique, la nécessité d'une bonne résistance chimique aux corrosions incite à choisir pour les gaines un matériau identique ou analogue à celui de l'installation elle-même. La soudabilité doit être également vérifiée. Il existe des prescriptions particulières



Suivant le type de protection attendue, les gaines de protection sont réalisables avec de nombreux matériaux : aciers réfractaires, aciers inox, alumines, céramiques,...

pour les installations traitant des produits alimentaires ou pharmaceutiques. Citons les aciers les plus usuels : AISI 304L, AISI 316L et 316 Ti.

■ Aciers réfractaires

On les emploie principalement pour les gaines placées dans les fours, les carneaux de fumée, les bains de sels. Ces gaines ne sont généralement pas soumises à des sollicitations dues à la pression ou à un écoulement. Elles doivent résister le plus possible à l'oxydation à haute température. Citons les aciers les plus usuels : AISI 321 et AISI 446.

■ Nickels purs et alliages à haute teneur en nickel

- Les alliages Nickel-Chrome ou « Inconel »

Les « inconels » présentent une forte teneur en nickel et en chrome, leur conférant une résistance aux milieux oxydants et réducteurs. Ils sont adaptés aux milieux corrosifs à température élevée. Certains alliages présentent d'exceptionnelles tenues à la fatigue.

- Les alliages Nickel-Fer-Chrome ou « Incoloy »

La présence de fer autour de 40% confère aux « incoloy » des propriétés de résistance à la carburation. Ils offrent d'excellentes résistances à température élevée, ainsi qu'à l'attaque du soufre et à la corrosion.

- Les alliages Nickel-Cuivre ou « Monel »

Les « monels » présentent une teneur en cuivre autour de 30%. Ces alliages présentent une haute résistance mécanique, une bonne soudabilité et une excellente tenue à la corrosion dans une vaste gamme de températures et de conditions d'environnement.

- Les alliages Nickel/Chrome-Molybdène/Fer ou « Hastelloy »

Les « hastelloys » sont spécialement résistants aux milieux corrosifs aussi bien oxydants que réducteurs. Leur polyvalence et leur tenue à la fatigue en font des alliages utilisés en chimie fine. Certains sont utilisés en incinération d'ordures ménagères.

Revêtement	Propriétés	Exemples d'emploi
PTFE	Résistant aux acides faibles et aux bases Conductivité thermique médiocre	Installations chimiques sans impératifs de longévité
Stellite	Très dur, résistant à l'abrasion à haute température Revêtement déposé par soudure	Fours tournants, airs chargés en poussières abrasives
Acier doux émaillé	Bonne tenue jusqu'à 450 °C mais fragilité aux chocs	Bain de zinc

Tubes métalliques revêtus (fig. 1)
Exemples d'applications de tubes métalliques revêtus

Matériau	Propriétés	Exemples d'emploi
Platine et Platine-rhodié	Résistant à l'oxydation, même à haute température Résistant aux acides et aux bases	Fabrication d'acide fluorhydrique Bains de verre et d'émail
Tantale	Très résistant aux acides et aux bases jusqu'à 300 °C (exceptionnellement jusqu'à 400 °C)	Tuyauteries et chaudronneries revêtues en tantale : pour acide nitrique ; acide lactique ; brome ; iode
Argent	Résistant à l'oxydation jusqu'à 400 °C - Résistant partiellement aux acides, par ex. l'acide phosphorique	Installations chimiques revêtues d'argent
Molybdène	Résistant aux atmosphères réductrices à haute température	Fours sous atmosphère avec présence d'hydrogène
Kanthal	Présence d'une couche d'alumine protectrice conférant des propriétés de résistances aux milieux oxydants et aux milieux souffrés	Fours à gaz

Métaux spéciaux (fig. 2)
Exemples d'applications avec des gaines en métaux précieux

Revêtement	Propriétés	Exemples d'emploi
PTFE et Polyamides	Résistant aux acides faibles et aux bases Conductivité thermique médiocre	Bains de galvanoplastie et acides
PVC	Peu résistant, tenue maxi 100 °C - Revêtement déposé par soudure	Applications sans exigences particulières

Gaines en matériaux plastiques (fig. 3)
Exemples d'applications avec des gaines en matériaux plastiques



Cannes CADID pour hautes températures, à partir de 500 °C. L'élément sensible, un thermocouple emperlé, est recouvert d'un protecteur métallique ou bien d'une gaine en céramique ou en alumine.

■ Tubes métalliques revêtus

Des gaines métalliques revêtues d'un revêtement adapté à l'environnement, procurent une bonne résistance chimique, en plus de la résistance mécanique donnée par le tube support. (fig. 1)

■ Métaux spéciaux

Dans les cas où les aciers et alliages à base de nickel ne suffisent pas, des gaines de protection en métaux spéciaux sont utilisées. (fig. 2)

Les gaines non métalliques

■ Gaines en matériaux plastiques

Les plastiques les plus couramment rencontrés sont les PTFE, polyamide et PVC. (fig. 3)

■ Les gaines en céramiques et autres matériaux amorphes

Elles travaillent principalement à haute température, quand les métaux ne peuvent plus être utilisés ou n'ont pas de durée de vie suffisante. Les gaines céramiques en alumine ou en silicate d'aluminium conviennent aux couples thermo-électriques en métaux nobles. (fig. 4)

Ces gaines sont très sensibles aux chocs thermiques : une introduction trop rapide dans la zone chaude entraîne un gradient de dilatation thermique qui peut provoquer la rupture de la gaine. Au contact des poussières, à haute température, il se forme souvent à leur surface des dépôts vitrifiés qui ont un coefficient de dilatation thermique différent : un retrait trop rapide fait éclater la gaine. Les gaines étanches aux gaz sont plus sensibles aux chocs thermiques.

À l'inverse, les gaines à gros grains ont une meilleure résistance mais ont une porosité élevée.

■ Gaines en matériaux composites (fig. 5)

Propriétés mécaniques

■ Résistance mécanique

La résistance mécanique des aciers diminue lorsque la température augmente. De plus la corrosion et l'abrasion contribuent à diminuer l'épaisseur effective de gaine. Ceci est à prendre en considération lors du calcul des gaines.

Les gaines céramiques perdent également leurs résistances aux hautes températures. Jusqu'à une certaine température, les caractéristiques de tenue varient relativement peu, mais au-delà elles les perdent, très rapidement et très fortement. Ce qui limite le domaine d'utilisation des céramiques impérativement en deçà de cette température (indiquée par les fournisseurs).

■ Résistance à la corrosion et à l'abrasion

Sur le plan de la résistance chimique, le choix d'un matériau adéquat pour la gaine exige une très grande attention. Dans les solutions aqueuses, il se forme une pile électrique (par exemple entre la gaine et les parois de la chaudière) qui aggrave toujours la corrosion lorsque la distance entre les deux matériaux réactifs est faible.

La règle de base suivante en découle : la gaine doit être fabriquée dans le même matériau que l'équipement ou dans un matériau électriquement plus noble.

On peut obtenir auprès des fabricants d'acier des données sur la perte de poids (par m³ et par an) ainsi que sur la résistance à l'oxydation des aciers réfractaires. Ces valeurs s'entendent en air calme. La résistance à l'oxydation des alliages chrome-nickel tient à la couche d'oxyde adhérente qui limite la pénétration d'oxygène. Lorsque cette peau d'oxyde est endommagée, par exemple si des



Les gaines quartz, résistantes aux acides et aux bases, trouvent leurs applications dans la chimie. Par ailleurs, insensibles aux chocs thermiques et utilisables jusqu'à de très hautes températures, elles s'utilisent également dans la métallurgie. Enfin, elles garantissent les exigences de pureté dans les fours d'élaboration des semi-conducteurs.

Matériau	Propriétés	Exemples d'emploi
Céramique 530	Résistant jusqu'à 1 500 °C ; peu sensible aux chocs thermiques ; poreuse	Matériau des plus courant dans les fours de métallurgie et de traitement thermique, souvent utilisé en double enveloppe
Alumine 710	Résistant jusqu'à 1 800 °C ; très sensible aux chocs thermiques ; peu poreuse	Matériau des plus courants dans les fours de métallurgie et de traitement thermique, à plus haute température que la céramique 530
Quartz	Résistant aux acides (sauf HF) et aux bases - Insensible aux chocs thermiques	Bain d'acier jusqu'à 1 600 °C Fours pour semi-conducteurs

*Les gaines en céramiques et autres matériaux amorphes (fig. 4)
Exemples d'applications avec des gaines en matériaux céramiques*

Matériau	Propriétés	Exemples d'emploi
Graphite	Conducteur de l'électricité ; utilisable jusqu'à 1 800 °C ; à utiliser impérativement avec une gaine intérieure isolante comme l'alumine 710	Fonderie d'aluminium
Carbure de Silicium à liant nitruré	Résistance mécanique élevée, bonne résistance aux chocs thermiques - Résistant aux atmosphères oxydantes et réductrices - Température maxi 1 600 °C	Fonderie d'aluminium, zamac, zinc et métaux cuivreux Fours d'incinération
Nitride de Silicium	Excellente résistance à la corrosion dans les métaux non ferreux - Température maxi 1 250 °C	Bain de zinc

*Gaines et matériaux composites (fig. 5)
Exemples d'applications avec des gaines en matériaux composites*

particules de poussières ou des sables sont entraînées dans un courant d'air, les dommages augmentent fortement. Il n'est pas possible de donner des valeurs valables d'une façon générale. Pour augmenter la résistance à l'abrasion, on utilise des revêtements adaptés sur les gaines métalliques : le stellitage, le shoopage en sont des exemples, ainsi que les procédés plasmas

sous vide. Ces derniers permettent d'utiliser une grande variété de matériaux de revêtement sur les substrats les plus divers.

Service-lecteur n° 16

PYRO-CONTRÔLE - CHAUVIN ARNOUX
Pôle Équipement Thermique
Tél. : 04 72 14 15 40 - Fax : 04 72 14 15 41
e-mail : info@pyro-contrôle.tm.fr