

Termopares

Especificações Gerais



Vista Geral

Um termopar consiste na junção de dois metais diferentes numa extremidade chamada de junção quente (*hot junction*), produzindo uma força eletromotriz quando a junção quente e a junção fria (*cold junction*) na outra extremidade são colocadas a diferentes temperaturas. A junção quente é a parte do termopar a ser submetida à temperatura do processo. A junção fria ou de referência, está normalmente a uma temperatura mais baixa (ambiente) e servirá de compensação à junção quente. A força eletromotriz gerada pelo termopar varia com os metais da junção. Geralmente o elemento termopar termina numa cabeça de ligações. Pode, porém, ser transferida por cabo de compensação a outros instrumentos de medição e controlo. Os termopares são utilizados para a medição de temperatura na gama de -270°C a 2200°C .

O termopar com isolamento mineral foi desenvolvido inicialmente para aplicações no sector nuclear, sendo posteriormente estendida aos demais sectores do processo produtivo. Os principais motivos que geraram o seu desenvolvimento foram a necessidade de um termopar com tempo de resposta menor do que o que se obtinha com o termopar convencional montado com tubo de proteção, e que os termo-elementos não entrassem em contacto direto com o meio em que seriam inseridos.

A fabricação de um termopar com isolamento mineral parte de um termopar convencional montado com um tubo de proteção, sendo todo o conjunto assembled. Neste processo os termo-elementos ficam isolados entre si por um pó compactado de óxido de magnésio e protegidos por uma bainha metálica (originalmente o tubo de proteção). Assim e apesar de determinado termopar ter uma gama de utilização admissível para determinado processo, deverá se ter em atenção se o material selecionado para a bainha de proteção é suficientemente resistente ao tipo de meio a que vai ser submetida. Uma correta seleção do material para este componente, permite estabelecer um período de longevidade maior para o termopar, com maior fiabilidade e menores custos de exploração.

Os termopares com isolamento mineral poderão ser montados com a junção de medida isolada, à massa ou exposta. Se não for especificado serão produzidos com junção isolada.

Considere-se um termopar convencional com um tubo de proteção metálico. Verifica-se que o mesmo está submetido a uma diferença de temperatura, pois uma parte do mesmo está em contacto com o processo e a outra extremidade está em contacto com o ambiente, cada uma delas à sua temperatura. É inevitável que pelo conjunto sensor / tubo de proteção exista um fluxo de calor partindo da região de maior temperatura para a de menor temperatura. O equilíbrio ocorre quando o fluxo de calor recebido pelo sensor é igual ao perdido pelo mesmo, e nesta situação sua temperatura não é necessariamente igual à temperatura do processo.

Uma vez que se deseja monitorizar a temperatura do processo e que o valor de temperatura medido pelo sensor seja o mais próximo possível deste, é necessário que na instalação no processo sejam tomados alguns cuidados na escolha do conjunto de sensor e de seus acessórios.

- ❑ O conjunto sensor / acessórios deve ter uma massa que seja o menor possível quando comparada com a massa do processo. Existe uma resistência térmica do conjunto que pode provocar uma diferença de temperatura entre o sensor e o processo e quanto maior a massa deste conjunto, maior o valor desta resistência. Outro fenómeno indesejável é quando o processo tem flutuações no valor de sua temperatura e pela inércia do sensor, estas flutuações são atenuadas ou simplesmente não detetadas, facto diretamente relacionado à massa do sensor.
- ❑ Outro fator de relevância é a profundidade de imersão do sensor no meio cuja temperatura se deseja medir. Quanto maior a imersão do sensor, menor será o gradiente de temperatura que, no caso de um termopar, a junção de medição estará submetida. A consequência é que a temperatura da junção de medição se aproxima da temperatura do meio. Uma recomendação prática é de que a profundidade de imersão seja no mínimo igual a 6 vezes o valor do diâmetro externo do conjunto para medição em líquidos e 20 vezes para ar, gases ou vapor.
- ❑ Quando o conjunto termopar / cabo de extensão for instalado no processo próximo de campos eletromagnéticos, é muito provável que ocorram induções no conjunto, causando uma leitura errada dos valores de temperatura medidos. Nesta situação deve se utilizar termopares junção isolada, com a bainha ou tubo de proteção à massa, assim como o cabo de extensão / compensação, que também deve ser blindado e ligado à massa.
- ❑ Deve-se considerar que os termopares em geral se deterioram com o tempo, ocorrendo de forma bem significativa quando instalados em processos em temperatura elevada e em ambientes agressivos. Deve-se, portanto, em função das peculiaridades de cada processo, estabelecer uma vida útil para o sensor e proceder a sua substituição preventiva ou a calibração periódica do conjunto.



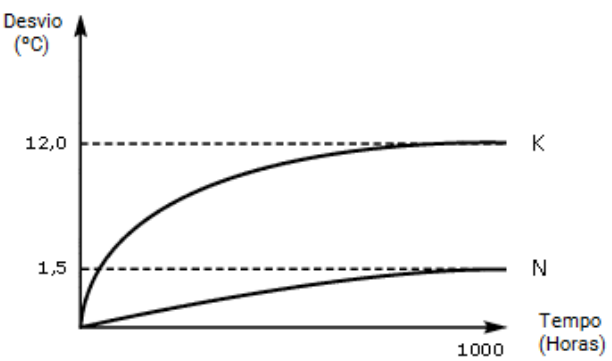
Tipos de Termopares

Os termopares mais usuais em aplicações industriais são dos tipos K, J, T, N, R e S. Em baixo exibem-se as características principais de cada um dos tipos.

Termopar Tipo K (NICKEL CHROMIUM - NICKEL)			
Elemento Positivo (KP)	Ni90%Cr10%	Gama de Medida	-270°C a 1200°C
Elemento Negativo (KN)	Ni95%Mn2%Si1%A12%	Emf Produzida	-6,458 mV a 48,838 mV
Pode ser utilizado em atmosferas oxidantes ou inertes. Devido à sua resistência à oxidação é utilizado em temperaturas superiores a 600°C e abaixo de 0°C. Não deverá ser utilizado em atmosferas redutoras ou com elevada presença de enxofre. A temperaturas elevadas e com baixo teor de oxigénio, dá-se a difusão do crómio, provocando um desvio na curva de resposta do termopar.			

Termopar Tipo J (IRON - CONSTANTAN)			
Elemento Positivo (JP)	Fe99,5%	Gama de Medida	-210°C a 760°C
Elemento Negativo (JN)	Cu55%Ni45%	Emf Produzida	-8,096 mV a 42,919 mV
Pode ser utilizado em atmosferas neutras, oxidantes ou redutoras. Não se recomenda a sua utilização em atmosferas com elevada humidade relativa e em temperaturas baixas (o elemento positivo fica frágil). Acima dos 540°C, o ferro sofre oxidação muito rapidamente. Não deverá também se utilizar este termopar em atmosferas com enxofre com temperaturas superiores a 500°C.			

Termopar Tipo T (COPPER - CONSTANTAN)			
Elemento Positivo (TP)	Cu100%	Gama de Medida	-270°C a 400°C
Elemento Negativo (TN)	Cu55%Ni45%	Emf Produzida	-6,258 mV a 20,872 mV
Pode ser utilizado em atmosferas neutras, oxidantes ou redutoras. Apresenta boa precisão, devido às boas propriedades do cobre. Acima dos 300°C, a oxidação do cobre começa a ser muito intensa, reduzindo o tempo de vida do termopar e provocando um desvio na curva de resposta original do termopar.			

Termopar Tipo N (NICROSIL - NISIL)			
Elemento Positivo (NP)	Ni84,4%Cr14,2%Si1,4%	Gama de Medida	-270°C a 1300°C
Elemento Negativo (NN)	Ni95,45%Si4,40%Mg0,15%	Emf Produzida	-4,345 mV a 47,513 mV
Termopar mais recente que é um substituto do termopar tipo K, por possuir uma resistência à oxidação bem superior a este e em muitos casos é também um substituto dos termopares à base de platina em função de sua temperatura máxima de utilização. A temperatura normal de funcionamento não deverá ser superior a 1100°C. É recomendado para atmosferas oxidantes, inertes ou pobres em oxigénio, uma vez que não sofre o efeito de <i>green-root</i> . Não deve ser exposto a atmosferas sulfurosas. O gráfico abaixo mostra o desvio em temperatura sofrido pelo termopar tipo N em comparação ao tipo K em uma atmosfera oxidante à temperatura de 1000°C.			

Termopar Tipo S (PLATINUM RHODIUM – PLATINUM)			
Elemento Positivo (SP)	Pt90%Rh10%	Gama de Medida	-50°C a 1768°C
Elemento Negativo (SN)	Pt100%	Emf Produzida	-0,236 mV a 18,693 mV
<p>Pode ser usado em atmosferas oxidantes e inertes, com fiabilidade e estabilidade a temperaturas elevadas, acima dos limites de outros termopares, que não contém platina nos seus elementos. Os termo-elementos não deverão ser expostos a vapores metálicos ou atmosferas redutoras. Este tipo de termopares não deverá ser assemblado diretamente em bainhas metálicas, mas usando isoladores cerâmicos e tubos de proteção em alumina (Al₂O₃) com elevado nível de pureza (99,7%), comercialmente conhecido como 799 (antigo 710). Continua a ser possível fabricar os termopares utilizando tubos cerâmicos com conteúdo de alumina de 67%, conhecido como 610, mas tal não é recomendado para este tipo de termopares. Para temperaturas superiores a 1500°C são utilizados tubos de platina. Não é recomendado a utilização destes termopares em temperaturas inferiores a 0°C, devido à instabilidade da resposta do sensor.</p>			

Termopar Tipo R (PLATINUM RHODIUM – PLATINUM)			
Elemento Positivo (RP)	Pt87%Rh13%	Gama de Medida	-50°C a 1768°C
Elemento Negativo (RN)	Pt100%	Emf Produzida	-0,226 mV a 21,101 mV
<p>Apresenta as mesmas características dos termopares tipo S, mas com aproximadamente 11% maior potência termoelétrica.</p>			

Classes de Tolerância





Na tabela 1 são exibidas as classes de tolerância (classes 1 e 2), de acordo com o tipo de termopar, temperatura de utilização e desvio, de acordo com a IEC 60584.

Tipo		R e S	B	J	T	E	K e N
Classe 1	Gama de Temperatura [°C]	0 a 1100 1100 to 1600	-	-40 a 375 375 a 750	-40 a 125 125 a 350	-40 a 375 375 a 800	-40 a 375 375 a 1000
	Desvio [°C]	± 1 ± (1 + 0,003(t - 1100))	-	± 1,5 ± 0,004 (t)	± 0,5 ± 0,004 (t)	± 1,5 ± 0,004 (t)	± 1,5 ± 0,004 (t)
Classe 2	Gama de Temperatura [°C]	0 a 600 600 a 1600	600 a 800 800 a 1700	-40 a 333 333 a 750	-40 a 133 133 a 350	-40 a 333 333 a 900	-40 a 333 333 a 1200
	Desvio [°C]	± 1,5 ± 0,0025 (t)	± 0,0025 (t) ± 0,005 (t)	± 2,5 ± 0,0075 (t)	± 1,0 ± 0,0075 (t)	± 2,5 ± 0,0075 (t)	± 2,5 ± 0,0075 (t)

Tabela 1 – Classes dos termopares de acordo com a IEC 60584



Código de Cores

Tipos TC	Combinação de Elementos		Standards			
	Elemento +	Elemento -	 IEC 60584-3	 ANSI Mc96.1	 DIN43714	 BS 1843
T	Cobre	Constantan				
J	Ferro	Constantan				
E	Níquel - Crómio	Constantan				
K	Níquel - Crómio	Níquel - Alumínio				
Vx	Cobre	Constantan				
N	Nicrosil	Nisil				
S	Platina - 10% Ródio	Platina				
R	Platina - 13% Ródio	Platina				
U	Cobre	Níquel				
B	Platina - 30% Ródio	Platina - 6% Ródio				
G	Tungsténio	Tungsténio - 26% Rénio				
D	Tungsténio - 3% Rénio	Tungsténio - 25% Rénio				
C	Tungsténio - 5% Rénio	Tungsténio - 26% Rénio				



Vx é a designação do cabo de compensação para termopar tipo K, também definido como KCA/KCB. Tem-se por U a designação do cabo de compensação para termopares tipos S e R.



Apresenta-se em baixo as características dos principais materiais, disponibilizados como standards, nas bainhas de proteção, adaptação ao processo e proteção dos elementos termopar.

SS 304 (1.4301 / X5CrNi18-10)

O AISI 304 é um aço inoxidável austenítico cromo-níquel amplamente utilizado. O aço inoxidável 304 tem excelente resistência à corrosão em uma ampla variedade de ambientes e quando em contato com diferentes meios corrosivos. A corrosão localizada e fendas podem ocorrer em ambientes que contendo cloretos. A fragilização por corrosão sob tensão pode ocorrer em temperaturas acima de 60°C. O aço inoxidável 304 tem boa resistência à oxidação em serviço intermitente até 870°C e em serviço contínuo até 900°C. No entanto, o uso contínuo a 425-860°C não é recomendado se a resistência à corrosão em água for necessária. Este aço inox é comum em toda a indústria, particularmente no processamento de alimentos, pois o material não é suscetível à corrosão de ácidos encontrados em alimentos comuns. Como consequência, este inox é ideal para itens como lavatórios e escoadouros, superfícies de trabalho, áreas de preparação e frigoríficos. Também é um material perfeito para uso em ambientes indústria farmacêutica tais como salas esterilizadas.

SS 316L (1.4404 / X2CrNiMo17-12-2)

SS 316 é a qualidade padrão com adição de molibdênio, o segundo em importância a seguir ao inox 304 entre os aços inoxidáveis austeníticos. O molibdênio confere ao SS 316L melhores propriedades gerais de resistência à corrosão do que o grau 304, especialmente maior resistência à corrosão localizada e fissuras em ambientes com cloretos. O SS 316L, a versão de baixo carbono do 316 é imune à sensibilização (precipitação de carboneto de perimetro do grão). Portanto, é amplamente utilizado em componentes soldados de grande calibre. A estrutura austenítica também confere a estas qualidades de aço inox excelente tenacidade, mesmo em temperaturas criogênicas. Comparado aos aços inoxidáveis austenítico de cromo-níquel, o aço inoxidável 316L oferece maior fluência, tensão à ruptura e resistência à tração em temperaturas elevadas. SS 316L com excelentes propriedades de resistência à corrosão em ácidos (fosfórico e sulfúrico em baixa concentração e temperatura) em atmosferas não oxidantes. Temperatura máxima de 927°C.

SS 321 (1.4541 / X6CrNiTi18-10)

Aço inoxidável semelhante ao SS 304, mas com composto de titânio, o que lhe confere melhores propriedades quando submetido a operações de soldadura e aumentando a resistência química para utilização na indústria alimentar e química. Caracterizado por alta resistência à corrosão em ambientes corrosivos atmosféricos em geral, exibe excelente resistência à maioria dos agentes oxidantes, alimentos em geral, soluções esterilizantes, corantes, à maioria dos produtos químicos orgânicos e uma ampla variedade de produtos químicos inorgânicos, também gases quentes de produtos petrolíferos, gases de combustão de vapor, ácido nítrico, e, em menor grau, ácido sulfúrico. Apresenta boa resistência à oxidação em temperaturas elevadas, excelente resistência à corrosão intergranular e excelente soldabilidade. Temperatura máxima de 900°C.

Inconel 600 (2.4816 / NiCr15Fe)

O Inconel 600 ou Alloy 600 é uma liga não magnética à base de níquel para altas temperaturas que possui uma excelente combinação de alta resistência, manuseamento a quente e a frio e resistência a formas comuns de corrosão. Esta liga também exibe boa resistência ao calor e isenção de envelhecimento ou corrosão sob tensão em toda a gama de condição recozida a muito fria. O alto teor de cromo do Inconel 600 aumenta sua resistência à oxidação consideravelmente acima do níquel puro, enquanto seu alto teor de níquel oferece boa resistência à corrosão em condições de redução. Esta liga apresenta altos níveis de resistência à tensão e água salgada, gases de exaustão e à maioria dos ácidos e compostos orgânicos. Boa resistência à oxidação em temperaturas elevadas. Temperatura máxima de 1149°C.

SS 446-1 (1.4749 / X18CrN28)

O SS 446-1 é um aço cromo inoxidável ferrítico resistente ao calor, caracterizado por uma resistência extremamente boa à redução de gases sulfurosos, muito boa resistência à oxidação no ar, boa resistência à corrosão de cinzas de produtos petrolíferos e boa resistência a cobre fundido, chumbo e estanho. SS 446-1 deve ser escolhido principalmente para serviço em temperaturas acima de 700°C, onde a excelente resistência do material à corrosão de escória e gases sulfidantes é particularmente vantajosa. As aplicações típicas do SS 446-1 são em recuperadores nas indústrias metalúrgica e de vidro, tubos de proteção de termopar, tubos de soprador de fuligem, bicos de injeção e tubos mufla em fornos de recozimento de fio contínuo.

ALLOY C-276 (2.4819 / UNS N10276)

ALLOY C-276 é uma liga forjada de níquel-cromo-molibdênio considerada a liga resistente à corrosão mais versátil disponível. Esta liga é resistente à formação de precipitados de contorno de grão na zona afetada pelo calor da soldadura, tornando-a adequada para a maioria das aplicações de processos químicos na condição de soldada. A liga C-276 também tem excelente resistência a corrosão localizada, corrosão sob tensão e atmosferas oxidantes até 1030°C. A liga C-276 tem resistência excepcional a uma ampla variedade de ambientes químicos. Algumas aplicações típicas da ALLOY C-276 incluem componentes de equipamentos em processos químicos e petroquímicos de cloretos orgânicos e processos que utilizam haletos ou catalisadores ácidos. Outras aplicações são na indústria do papel e celulose (digestores e áreas de branqueamento), purificadores e condutas para dessulfurização de gases de combustão, equipamentos farmacêuticos e de processamento de alimentos.

MONEL 400 (2.4361 / UNS N04400)

Monel 400 é uma liga de níquel-cobre (cerca de 67%Ni - 23%Cu) que é resistente à água do mar e ao vapor em altas temperaturas, bem como a soluções salinas e cáusticas. Esta liga de níquel é particularmente resistente aos ácidos clorídrico e fluorídrico quando eles são desareados. Como seria de se esperar por seu alto teor de cobre, o Monel 400 é rapidamente atacada por sistemas de ácido nítrico e amônia. Uma baixa taxa de corrosão em água salobra ou do mar de fluxo rápido combinada com excelente resistência à corrosão sob tensão na maioria das águas doces e sua resistência a uma variedade de condições corrosivas, levou à sua ampla utilização em aplicações marinhas e outras soluções de cloretos não oxidantes. O Monel 400 pode ser utilizado em temperaturas de até 535°C.

SS 310 (1.4845 / X8CrNi25-21)

O aço inoxidável AISI 310 é um aço inoxidável austenítico com alto teor de cromo e níquel e alto teor de carbono. Possui excelentes propriedades mecânicas, resistência à oxidação em altas temperaturas e resistência ao calor em serviço contínuo até 1150°C. O AISI 310 é utilizado em vários fornos industriais, caldeiras a vapor e peças de sistemas na indústria petroquímica e tubos de proteção de termopar. Os exemplos incluem caixas de incêndio, revestimentos de fornos, defletores de caldeiras, bainhas de termopar, aquecedores de cabine de aeronaves e revestimentos do queimador de motores a jato.

SS 904L (1.4539 / X1NiCrMoCu25-20-5)

O aço inoxidável grau 904L é um aço inoxidável austenítico não estabilizado com baixo teor de carbono. A este aço inoxidável de liga complexa, é adicionado cobre para melhorar sua resistência a ácidos redutores fortes, como o ácido sulfúrico. Este aço é também resistente à corrosão sob tensão e corrosão em fissuras. Os aços inoxidáveis grau 904L têm excelente resistência à água do mar quente e ao ataque de cloretos. Os aços inoxidáveis grau 904L oferecem boa resistência à oxidação. No entanto, a estabilidade estrutural deste grau entra em colapso em altas temperaturas, particularmente acima de 400°C. As principais aplicações dos aços inoxidáveis 904L incluem indústrias de processamento de papel e celulose e fábricas de processamento de ácido acético, fosfórico e sulfúrico.

KANTHAL A-1

Kanthal A-1 é uma liga ferrítica de ferro-cromo-alumínio (liga FeCrAl) para utilização em temperaturas até 1400°C. A liga é caracterizada por alta resistividade e muito boa resistência à oxidação. As aplicações típicas do Kanthal A-1 são elementos de aquecimento elétrico em fornos industriais e tubos de proteção de termopar.

KANTHAL AF

Kanthal AF é uma liga ferrítica de ferro-cromo-alumínio (liga FeCrAl) utilizada em temperaturas até 1300°C. A liga é caracterizada por excelente resistência à oxidação e muito boa estabilidade de forma, resultando em longa vida útil do elemento. As aplicações típicas do Kanthal AF são como elementos de aquecimento elétrico em fornos industriais e tubos de proteção de termopar.

KANTHAL APM

Kanthal APM é uma liga de ferro-cromo-alumínio ferrítica de pó avançada, reforçada com dispersão (liga FeCrAl) para uso tubular em temperaturas até 1250°C. Os tubos Kanthal APM têm boa estabilidade de forma em alta temperatura. O Kanthal APM forma um excelente óxido de superfície não incrustante, que oferece boa proteção na maioria dos ambientes de fornos, ou seja, oxidante, sulfuroso e de combustão, bem como contra depósitos de carbono, cinzas, etc. A combinação de excelentes propriedades de oxidação e estabilidade de forma torna esta liga única. As aplicações típicas do Kanthal APM são tubos de proteção termopar e como tubos radiantes em fornos elétricos ou a gás, como fornos de galvanização contínua, fornos de têmpera, fornos de espera e fornos de dosagem em alumínio e zinco.

C610 (Pytagoras)

Material cerâmico não poroso. Muito resistente ao ácido fluorídrico, aos choques mecânicos e térmicos, é utilizada não apenas como tubo de proteção externa (bainha), mas também como tubos interno e isolante. Temperatura máxima: 1400°C.

C799 (Alsint 99.7)







É o material mais resistente utilizado como proteção interna e externa. Excelente resistência ao ácido fluorídrico, vapores alcalinos e atmosferas desde redutor até oxidante. Possui a maior pureza e menor porosidade em comparação com outros tipos de cerâmica. Temperatura máxima: 1600°C.

Outros Materiais	Temperatura máxima [°C]
Aço Carbono	550
Aisi 446-1	1093
Aisi 304	899
Aisi 310	1147
Hasteloy B	815
Hasteloy C	1038
Monel	893
Nicrobell	1250
Molibdênio	1870
HR-160	1200
Titânio: Atmosferas Oxidantes	538
Titânio: Atmosferas Inertes e Redutoras	1260
Tântalo	2349
Termo-alloys APM	1425
Cerâmica C610 (Pytagoras)	1500
Cerâmica C710 / 799 (Alsint)	1600
Metal Ceramico LT-1	1375
Carboneto de Silicone Recristalizado	1600
Platina	1699



Tabela 2 – Temperatura máxima de serviço de materiais: Temperaturas indicativas, sujeitas a alteração de acordo com atmosfera/meio



Contato

	Parque Empresarial Baía do Tejo, Rua 48 N°11 Apartado 5056 2830-571 Barreiro, Portugal		+351 212 070 802 +351 212 070 803 +351 210 900 148
	38.663817, -9.066176		+351 212 070 804
	www.deltasensor.pt		comercial@deltasensor.pt

Sujeito a alterações. Direitos reservados à Delta Sensor, Lda

 **Antes de imprimir este documento pense bem se é mesmo necessário fazê-lo: O meio ambiente é de todos.**
 **Please consider the environment before printing this document.**