



Guia para a selecção de pontas para CMMs

Na decisão da melhor maneira para medir um componente numa máquina de medição por coordenadas (CMM), muitas escolhas são realizadas automaticamente, por terem sido já cuidadosamente ponderadas muitas vezes antes. As especificações da exactidão da CMM, o melhor tipo de apalpador a ser utilizado (de contacto ou de varrimento) e o método de apalpação ideal são muitas vezes dados como garantidos e não questionados. No entanto, para uma boa metrologia, este modo de actuação pode ser comprometido por uma selecção inadequada ou imponderada da ponta, o que pode conduzir a uma exactidão defeituosa da medição.

Para avaliar a exactidão da medição necessária com a CMM, é prática comum utilizar uma relação entre a incerteza da CMM e a tolerância da característica a medir de, pelos menos, 1:5 (1:10 é a relação ideal, mas em muitos casos esta pode revelar-se demasiado dispendiosa para ser viável). Esta relação oferece uma margem de segurança para os resultados apresentarem uma incerteza relativamente reduzida, relativamente ao intervalo da variação esperado da peça. A manutenção de uma relação de 1:5 na tolerância mais apertada deveria significar o fim do argumento sobre a exactidão.

Infelizmente, algo tão simples como trocar a ponta de um apalpador pode surpreendentemente ter uma elevada influência sobre a exactidão real que pode ser alcançada e, assim, conduzir a uma considerável variação nos resultados da medição. Não é suficiente confiar na calibração anual da CMM para confirmar a sua exactidão, pois esta apenas irá confirmar o resultado obtido com a ponta utilizada no teste de verificação (normalmente muito curto). Assim, esta é, provavelmente, a melhor exactidão possível. Para uma melhor compreensão sobre a expectável precisão de uma série de medições mais extensa, necessitamos de avaliar de que modo a ponta contribui para a incerteza da medição.

Neste artigo, serão examinados quatro aspectos relevantes da selecção de pontas que afectam a exactidão geral de uma CMM:

1. Esfericidade da esfera da ponta
2. Flexão da ponta
3. Estabilidade térmica
4. Selecção do material da ponta do apalpador (aplicações de varrimento)



As especificações e configuração das pontas pode afectar a precisão dos resultados da medição

1. Esfericidade da esfera da ponta

As extremidades das pontas dos apalpadores de medição apresentam uma forma esférica e são normalmente constituídas por rubis sintéticos. Qualquer erro na esfericidade destas extremidades irá afectar a incerteza da medição da CMM, com uma perda de até 10% da exactidão da CMM, apenas por esta razão.



Pontas esféricas de rubi

Para as aplicações mais exigentes, a Renishaw tem disponível uma série de pontas com esferas de classe 3, com uma esfericidade de apenas 0,08 μm .



As esferas de rubi são fabricadas em diversos graus de precisão, ou "classes", ou seja, do desvio máximo da esfera da ponta, relativamente a uma esfera geometricamente perfeita. As duas especificações de esferas mais comuns são as classes 5 e 10 (quanto menor a classe, melhor será a esfera). A redução da qualidade da esfera da classe 5 para a classe 10 economiza um pouco em termos de custo da ponta, mas pode ser suficiente para colocar em risco a relação 1:5 desejada. O problema é que não é possível detectar visualmente a classe da esfera e tal não ser evidente nos resultados da medição, tornando difícil determinar o alcance do seu significado. Uma possível solução é especificar sistematicamente esferas de classe 5: custam um pouco mais, mas o custo resultante de tal escolha é menor, quando comparado com a possibilidade de rejeição de uma peça conforme ou, o que é ainda pior, a aceitação de uma peça não conforme. Ironicamente, quanto mais exacta for a CMM, mais significativo é o efeito da classe da esfera. Nas CMMs com especificações mais elevadas, pode perder-se 10% da sua exactidão deste modo. Vamos ver um exemplo...

Um erro típico na medição com um apalpador ISO 10360-2 (MPE_p), determinado com uma ponta de esfera de classe 5 será igual a:

- $MPE_p = 1,70 \mu\text{m}$

Este valor é determinado, medindo 25 pontos discretos, cada um considerado como 25 raios separados. A gama da variação dos raios é o valor MPE_p . A esfericidade da esfera da ponta contribui directamente para este valor, e assim, neste exemplo, a troca da classe da esfera de 5 para 10 aumenta este valor em 0,12 μm e aumenta o erro da medição em 7%:

- $MPE_p = 1,82 \mu\text{m}$

Ter em atenção que a esfericidade da esfera também afecta o MPE_{THP} , que utiliza quatro trajectórias de varrimento em redor da esfera para avaliar o desempenho do apalpador de varrimento.

Notas:

- Esfericidade de uma esfera de classe 5 = 0,13 μm
- Esfericidade de uma esfera de classe 10 = 0,25 μm

2. Flexão da ponta

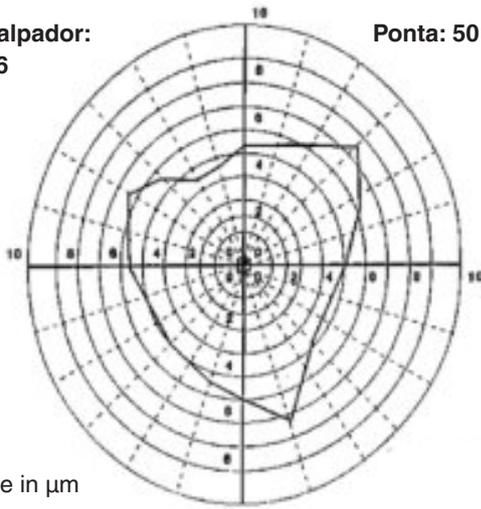
Na utilização de apalpadores por contacto, como o apalpador TP20, o mais utilizado na indústria, é prática comum trocar os módulos de pontas para aproveitar ao máximo as vantagens das diferentes pontas, cada uma optimizada para uma tarefa de medição. A razão por que uma ponta longa não é utilizada em todas as características de uma peça é que o aumento do comprimento da ponta acarreta a redução da exactidão da medição. É assim boa prática manter a ponta o mais curta e rígida possível - mas porquê?

Apesar de a ponta não ser directamente responsável por este erro particular, este é ampliado com o aumento do comprimento da ponta. O erro é originado pela força variável necessária para activar o apalpador em diferentes direcções. A maioria dos apalpadores não é activada no instante em que o contacto é efectuado entre a ponta e a peça; é necessário existir uma força suficiente para vencer a carga da mola dentro do mecanismo do sensor. Esta força deforma elasticamente a ponta. Esta flexão permite ao apalpador mover-se numa curta distância em relação à peça, após o contacto físico, mas antes de ser gerada a activação. Este movimento é designado por *pré-curso*.

O disposição cinemática triangular da maioria dos apalpadores conduz a serem necessárias forças diferentes para ser gerada uma activação. Nas direcções com maior rigidez, o apalpador resiste à activação até se verificar uma maior flexão na ponta. Isto também significa que a CMM se desloca mais, com o pré-curso a variar com o ângulo de aproximação (ver o diagrama abaixo).

**Apalpador:
TP6**

Ponta: 50 mm



Scale in µm

Varição do pré-curso: 3,28 µm
Força de activação: 15 g
Repetibilidade (2σ): 0.5 µm

Ângulo de aproximação e pré-curso necessário para activar um apalpador de contacto TP6

Esta *variação do pré-curso* é ainda mais agravada quando são utilizados ângulos de aproximação compostos (eixos X, Y e Z). Para minimizar este efeito, antes de serem utilizadas, todas as pontas são calibradas numa esfera de referência de dimensões bem conhecidas. Numa situação ideal, esta calibração permite mapear os erros em cada combinação de pontas e com diferentes ângulos de aproximação. No entanto, na prática, muitas vezes para economizar tempo, são apenas considerados alguns ângulos e depois calculadas as médias dos valores, aceitando-se como aceitável a permanência de um erro muito reduzido.

Mas, sem serem realizados testes empíricos, é difícil calcular o efeito deste processo na incerteza da medição. O factor mais importante, é que quaisquer erros residuais da variação do pré-curso são ampliados pela flexibilidade da ponta seleccionada. Isto reforça a importância da selecção dos materiais no projecto da ponta, e uma correcta ponderação entre a resistência à flexão da haste e outras características, como o seu peso e custo. Enquanto o aço (com um módulo de elasticidade $E = 210 \text{ kN/mm}^2$) é a escolha mais apropriada para a maior parte das pontas curtas, o material mais rígido normalmente utilizado é o *carboneto de tungsténio* ($E = 620 \text{ kN/mm}^2$), mas como este material é também muito denso, é também raramente utilizado em pontas mais longas. Nestes casos, a fibra de carbono proporciona uma excelente combinação de rigidez ($E \geq 450 \text{ kN/mm}^2$) e peso reduzido. Em aplicações de medição por contacto em máquinas-ferramenta, são frequentemente utilizadas hastes de cerâmica ($E = 300\text{-}400 \text{ kN/mm}^2$), devido ao seu peso reduzido e à sua excelente estabilidade térmica.



As pontas e extensões mais longas são frequentemente fabricadas em fibra de carbono, devido à sua excelente rigidez e reduzido peso

A rigidez da ponta é também afectada pelas uniões utilizadas na sua montagem. Como regra geral, sempre que possível, as uniões devem ser evitadas, já que podem introduzir histerese, o que pode ser minimizado, se for utilizado um apalpador fixo para medir peças as peças mais complexas. Nestes casos, pode ser necessária uma configuração constituída por diversas pontas, extensões, conectores e articulações. Como nota final, é assim muito importante considerar devidamente os materiais seleccionados para cada elemento, devido ao seu impacto na rigidez, no peso e na robustez da configuração.

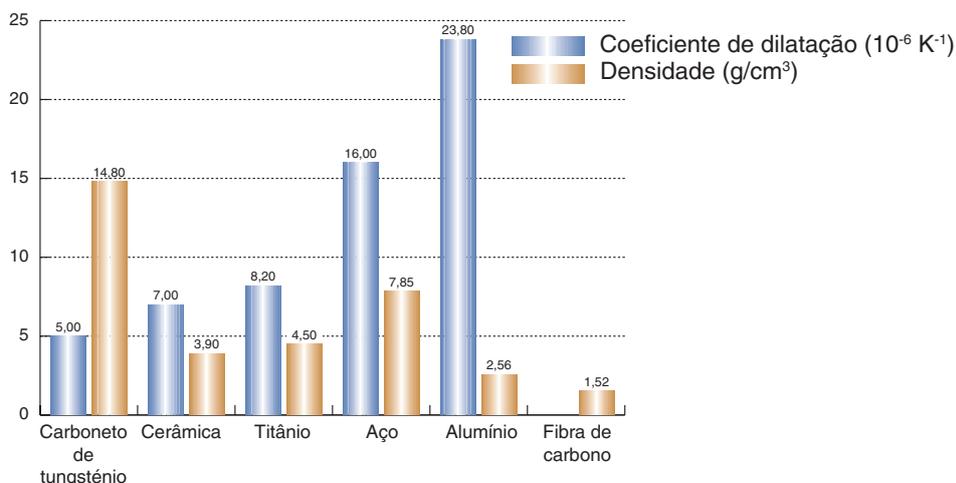


Para optimização da precisão, as configurações de pontas muito complexas exigem uma selecção cuidada dos materiais

3. Estabilidade térmica

As variações de temperatura podem dar origem a sérios erros de medição. A escolha do material mais apropriado para as extensões das pontas pode proporcionar uma maior estabilidade em condições variáveis e conduzir a resultados da medição mais consistentes. São, assim, preferíveis, os materiais com reduzido coeficiente de dilatação térmica, especialmente nos casos em que são utilizadas pontas mais longas, porque a dilatação térmica depende do comprimento do objecto:

Como referido anteriormente, a fibra de carbono é o material mais comum para pontas e extensões longas, porque é mais rígida, mais leve e não altera o seu comprimento com a variação da temperatura. Nos casos em que os metais sejam necessários - uniões, articulações, etc. - o titânio oferece a melhor combinação de resistência, estabilidade e densidade. A Renishaw pode fornecer apalpadores e extensões de pontas fabricados com ambos estes materiais.



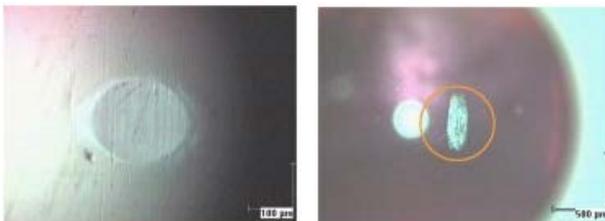
Coefficientes de dilatação térmica e densidades dos materiais das hastes das pontas

4. Selecção do material da ponta do apalpador

Para a maior parte das aplicações, as esferas de rubi são a escolha normal para as extremidades das pontas. Contudo, existem algumas circunstâncias em que outros materiais constituem uma melhor alternativa.

Nas medições por contacto, a extremidade da ponta apenas entra em contacto com a superfície durante curtos períodos e sem movimento relativo. As medições por varrimento são diferentes, já que a esfera desliza sobre a superfície da peça, o que conduz a desgaste por atrito. Este contacto prolongado pode, em circunstâncias extremas, conduzir à remoção ou deposição de materiais sobre a esfera da ponta, afectando a sua esfericidade. Estes efeitos são ainda agravados, quando uma só região da esfera estiver em contacto constante com a peça. A Renishaw realizou já uma extensa investigação sobre estes efeitos, tendo sido identificados dois diferentes mecanismos de desgaste:

- O **desgaste abrasivo**, que ocorre durante o varrimento de superfícies como o ferro fundido, em que partículas de resíduos microscópicas provocam pequenos arranhões na ponta e na peça, o que se traduz num pequeno aplanamento na extremidade da ponta. Para estas aplicações, as pontas de zircónio são a escolha ideal.



O desgaste abrasivo (esquerda) é provocado pela remoção do material da ponta, enquanto o desgaste adesivo (direita) resulta da deposição de material da superfície da peça sobre a esfera da ponta

- O **desgaste adesivo**, que ocorre quando a esfera da ponta e o material da peça possuem afinidade química entre si. Este tipo de desgaste pode ser facilmente observado no varrimento de peças de alumínio com esferas de rubi (óxido de alumínio). O material da peça passa da peça relativamente mais macia para a ponta, criando um revestimento de alumínio sobre a extremidade da ponta e afectando assim a sua esfericidade. Nestes casos, o nitreto de silício é a escolha ideal, devido à sua boa resistência ao desgaste e a não ser atraído pelo alumínio.

5. Outros factores

Outros factores a considerar para a selecção das pontas:

- Tamanho da rosca da ponta apropriado para o sensor seleccionado
- Tipo de ponta – recta, estrela, articulada ou de configuração especial
- Tipo de extremidade da ponta – esférica, cilíndrica, em disco, hemisférica
- Tamanho adequado da extremidade da ponta para minimizar a influência da rugosidade da superfície na exactidão de medição

Todos estes tópicos são explorados em pormenor na brochura *Precision styli* (Catálogo de pontas de precisão) (ref.ª H-1000-3304) disponível para importação em www.renishaw.pt/styli.



Conclusão

As pontas desempenham um papel fundamental em qualquer medição, constituindo a interface determinante entre o apalpador e a peça. As pontas asseguram o acesso às características de toda a peça e devem transmitir fielmente a localização da superfície em relação ao apalpador. Para facilitar uma inspeção exacta, as pontas devem ser construídas com componentes de precisão e fabricados com materiais que correspondam aos requisitos da medição. Quando seleccionada com cuidado, a ponta não aumenta significativamente a incerteza da medição e produz resultados consistentes e fiáveis. Quando as tolerâncias das peças são muito apertadas, em que são necessárias pontas longas, deve ser cuidadosamente considerado o impacto destas escolhas na exactidão desejada das medições.

www.renishaw.pt/contact



#renishaw

 +34 936 633 420

 spain@renishaw.com

© 2022 Renishaw plc. Reservados todos os direitos. RENISHAW® e o símbolo de apalpador, são marcas comerciais registradas da Renishaw plc. A marca "apply innovation" e os nomes e denominações dos produtos Renishaw são marcas registradas da Renishaw plc ou de suas subsidiárias. Outras marcas, produtos ou nomes de empresas são marcas comerciais dos respectivos proprietários. Renishaw plc. Registrada na Inglaterra e no País de Gales. Empresa n.º: 1106260. Sede Social: New Mills, Wotton-under-Edge, Gloucestershire, GL12 8JR, Reino Unido.

EMBORA TENHA SIDO FEITO UM ESFORÇO CONSIDERÁVEL PARA VERIFICAR A EXATIDÃO DESTE DOCUMENTO NO MOMENTO DE SUA PUBLICAÇÃO, TODAS AS GARANTIAS, CONDIÇÕES, REPRESENTAÇÕES E RESPONSABILIDADES, INDEPENDENTEMENTE DA SUA ORIGEM, SÃO EXCLUÍDAS NA MEDIDA EM QUE A LEI O PERMITA.