

Livre blanc

Par le bon bout – Guide de sélection de stylets pour MMT

Pour savoir quelle est la meilleure méthode pour mesurer un composant sur une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT), de nombreux choix sont effectués par défaut car ils ont fait l'objet de sérieuses réflexions à maintes reprises auparavant. Les spécifications de précision de la MMT, le meilleur type de capteur à utiliser (palpeur à contact ou scanning) et la méthode de palpation optimale sont souvent tenus comme acquis et ne sont pas remis en question. Toutefois, ces bases de bonne métrologie peuvent être compromises si le choix du stylet est inadapté ou mal étudié, ce qui risque d'entraver la précision des mesures.



Pour évaluer le niveau de précision exigé par une mesure de MMT, il est courant d'utiliser un taux d'incertitude de MMT/tolérance d'entité d'au moins 1:5 (1:10 est idéal mais, dans de nombreux cas, cette option peut s'avérer trop coûteuse pour être pratique). Ce taux offre une marge de sécurité pour que les résultats aient un taux d'incertitude relativement faible par rapport à la plage d'écart attendue du composant. Tant qu'un taux de 1:5 peut être maintenu sur la plus stricte des tolérances, le débat sur la précision devrait être clos.

Malheureusement, une opération aussi simple qu'un changement de stylet sur un palpeur peut avoir une influence étonnamment forte sur la précision réelle réalisable et produire un écart notable dans les résultats de mesure. Il ne suffit pas de compter sur l'étalonnage annuel de la MMT pour contrôler cette précision car il se limitera à confirmer le résultat avec le stylet utilisé pour l'essai (très court habituellement). Il y a des chances que ce soit la meilleure précision possible. Pour mieux connaître la précision probable d'une plus grande gamme de mesures, il faut bien comprendre le rôle du stylet dans l'incertitude de mesure.



Les spécifications et la configuration du stylet risquent d'affecter la précision des résultats des mesures

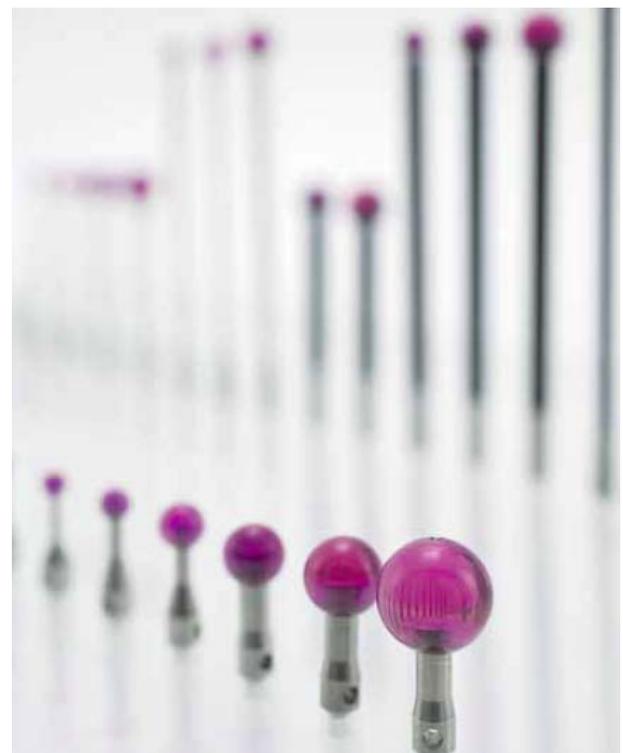
Ce livre blanc aborde quatre principaux aspects du choix des stylets affectant la précision globale des MMT :

1. Sphéricité de la bille du stylet
2. Fléchissement du stylet

3. Stabilité thermique
4. Sélection des matières de pointe de stylet (applications de scanning)

1. Sphéricité de la bille du stylet

Sur la plupart des stylets, les embouts de mesure ont une bille, généralement en rubis synthétique. Toute erreur de sphéricité de ces embouts constituera un facteur d'incertitude dans les mesures de la MMT dont la chute de précision pourra alors atteindre 10 %.



Embouts de stylets sphériques en rubis

Une erreur de palpation type selon ISO 10360-2 (MPE_P), déterminée au moyen d'un stylet à bille de catégorie 5 :

- $MPE_P = 1.70 \mu m$

Ce chiffre se calcule en mesurant 25 points discrets, chacun étant évalué sous la forme de 25 rayons séparés. La gamme d'écart des rayons est la valeur de MPE_P . Comme la sphéricité de la bille de stylet y contribue directement, passer d'une bille de catégorie 5 à une de catégorie 10 augmente cette valeur de $0,12 \mu m$ et dégrade l'erreur de palpation de 7%, soit dans ce cas :

- $MPE_P = 1.82 \mu m$

Notez que la sphéricité de la bille du stylet a aussi un impact sur la valeur MPE_{THP} , qui utilise quatre trajectoires de scanning au travers d'une sphère pour évaluer la performance du palpation de scanning.

Remarques :

- Sphéricité de bille catégorie 5 = $0,13 \mu m$
- Sphéricité de bille catégorie 10 = $0,25 \mu m$

Pour les applications les plus exigeantes, Renishaw propose une gamme de stylets à billes de catégorie 3 avec une sphéricité de seulement $0,08 \mu m$.



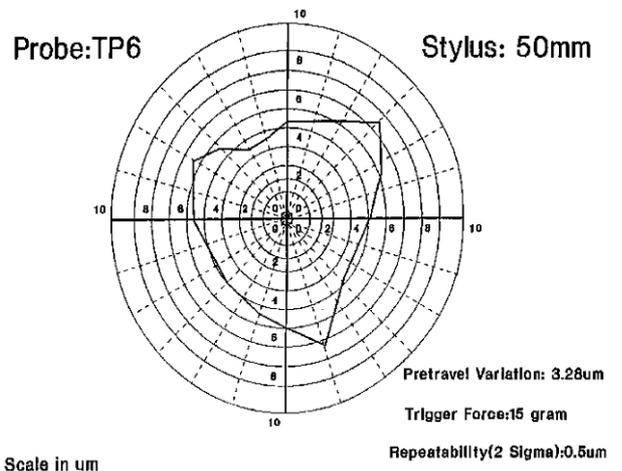
2. Fléchissement du stylet

Avec des palpeurs à déclenchement par contact, une référence du secteur comme le TP20, il est courant de passer d'un module de stylet à un autre pour tirer parti des différents stylets, chacun étant optimisé pour une tâche de mesure. La raison pour laquelle un stylet long n'est pas utilisé pour toutes les fonctions est que plus un stylet est long plus sa précision en

souffre. Les bonnes pratiques recommandent donc d'utiliser des stylets aussi courts et rigides que possible. Mais pourquoi ?

Bien que le stylet ne soit pas directement responsable de cette erreur particulière, sa longueur l'amplifie. Cette erreur vient de la force variable qui est nécessaire au déclenchement du palpeur dans différentes directions. La plupart des palpeurs ne se déclenchent pas à l'instant où le contact s'effectue entre le stylet et la pièce ; ils exigent une accumulation de force pour surmonter l'action du ressort dans le mécanisme de capteur. Cette force entraîne une déformation élastique du stylet. Ce fléchissement permet au palpeur de se déplacer sur une petite distance par rapport à la pièce une fois que le contact physique a eu lieu et avant que le déclenchement ne se produise. On appelle ce mouvement « *précourse* ».

L'agencement cinématique triangulaire de la plupart des palpeurs exige des forces différentes pour produire un déclenchement. Dans les sens les plus rigides, le palpeur résiste au déclenchement jusqu'à ce que le stylet ait fléchi davantage. Ceci signifie également que la MMT se déplacera plus loin, de manière que la précourse variera avec l'angle d'approche (voir le schéma ci-dessous). Cet écart de précourse est encore aggravé quand des angles d'approche composés (axes X, Y et Z) sont utilisés.



Angle d'approche par rapport à précourse requis pour déclencher un palpeur à déclenchement par contact TP6.

Pour minimiser cet effet, tous les stylets sont calibrés sur une sphère de référence de taille connue avant d'être utilisés. Dans l'idéal, ce processus mapperait les erreurs à chaque combinaison de stylet et d'angle d'approche. Dans la pratique, pour gagner du temps on prend souvent un échantillon des angles et on effectue une mise en moyenne. Une petite proportion de l'erreur peut donc rester.

Il est difficile de calculer l'effet que ceci peut avoir sur l'incertitude de mesure sans réaliser des tests empiriques. La notion la plus importante est que toute erreur résiduelle d'écart de précourse sera amplifiée par la flexibilité du stylet sélectionné. D'où l'importance de choisir la bonne matière dans la conception des stylets, d'évaluer la rigidité à la flexion de la tige par rapport à d'autres caractéristiques comme le poids et le coût. Bien que l'acier convienne à de nombreux stylets courts (module d'élasticité $E = 210 \text{ kN/mm}^2$), la matière la plus rigide couramment utilisée est le carbure de tungstène ($E = 620 \text{ kN/mm}^2$), mais sa densité fait qu'il est rarement employé dans les stylets longs. Dans ces cas, la fibre de carbone permet d'avoir une excellente combinaison de rigidité ($E \geq 450 \text{ kN/mm}^2$) et de légèreté. Dans l'intervalle, des tiges en céramique ($E = 300 \text{ à } 400 \text{ kN/mm}^2$) sont souvent utilisées dans les applications de palpage sur machines-outils car leur légèreté et leur stabilité thermique sont très appréciées.



Les stylets longs et les allonges sont souvent fabriqués en fibre de carbone afin d'optimiser la rigidité et le poids

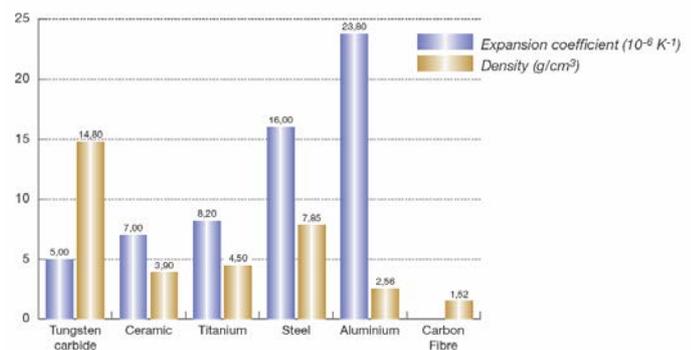
La rigidité des stylets est également affectée par les articulations des ensembles de stylets. En règle générale, il est préférable d'éviter les articulations dans la mesure du possible car elles peuvent induire des hystérésis. Toutefois ceci peut être inévitable si on utilise un capteur fixe pour mesurer des pièces complexes. Dans ce cas, une configuration faisant appel à une gamme de stylets, d'allonges, de connecteurs et d'articulations peut être nécessaire. Là encore, il importe de réfléchir aux matières choisies pour chaque élément car ils auront un impact sur la rigidité, le poids et la robustesse de la configuration.



Pour maintenir la précision, les configurations de stylet complexes exigent une sélection réfléchie des matières.

3. Stabilité thermique

Les fluctuations de température peuvent engendrer des erreurs de mesure graves. La sélection de la bonne matière pour les allonges de stylets peut conférer une meilleure stabilité, lorsque des changements sont nécessaires, en produisant des résultats de mesure plus cohérents. Les matières à faible coefficient de dilatation thermique sont préférables, surtout lorsque de longs stylets sont employés, puisque cette dilatation affecte la longueur :



Coefficients de dilatation thermique et densités relatives des matières de la tige du stylet

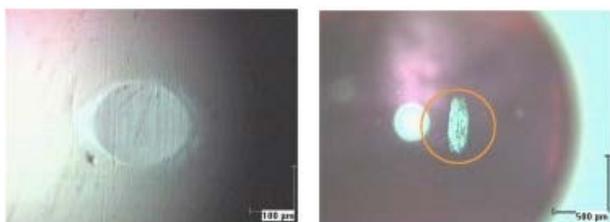
Ainsi qu'indiqué précédemment, la fibre de carbone est la matière la plus utilisée pour les stylets longs et les allonges car elle est rigide, légère et ne s'allonge pas avec les variations de température. Lorsque des métaux sont nécessaires – pour des jointures, articulations, etc. – le titane offre la meilleure combinaison de force, de stabilité et de densité. Renishaw fournit des allonges de palpateur et de stylets intégrant ces deux matières.

4. Sélection des matières pour pointe de stylet

Dans la plupart des applications, les billes en rubis sont le choix par défaut pour les pointes de stylet. Toutefois, dans certaines circonstances d'autres matières offrent une alternative préférable.

Avec les mesures à déclenchement par contact, la pointe de stylet n'entre en contact avec la surface que de brefs moments, et il n'y a pas de mouvement relatif. Il en va autrement du scanning où la bille glisse sur la surface du composant, ce qui produit une usure par friction. Ce contact prolongé peut, dans des circonstances extrêmes, produire un enlèvement ou un dépôt de matière sur la bille du stylet et nuire à sa sphéricité. Ces effets sont amplifiés si une zone de la bille est en contact constant avec la pièce. Les recherches approfondies de Renishaw sur ces effets ont mis en évidence deux mécanismes d'usure différents :

- **Une usure par abrasion** intervient quand on scanne une surface dont la matière, la fonte par exemple, comporte de minuscules particules de résidus. Ces particules produisent d'infimes rayures sur le stylet et la pièce, et créent un léger « plat » sur la pointe du stylet. Pour ces applications des pointes de stylets durs en zircone sont le meilleur choix possible.



L'usure par abrasion (à gauche) entraîne l'élimination de matière de la pointe du stylet, tandis que l'usure par adhérence (à droite) entraîne l'accumulation de matière sur la bille du stylet.

- **Une usure par adhérence** intervient quand la bille de stylet et la matière de la pièce présentent une affinité chimique. Ce phénomène s'observe quand on scanne des pièces en aluminium avec une bille en rubis (oxyde d'aluminium). Le transfert de la matière de la pièce relativement souple au stylet produit un dépôt d'aluminium sur la pointe du stylet et, là encore, affecte sa sphéricité. Dans ce cas, on recommande le nitrure de silice car il présente une bonne résistance à l'usure et n'est pas attiré par l'aluminium.

5. Autres facteurs

Autres considérations à envisager pour sélectionner un stylet :

- Filetage d'un stylet en fonction du capteur choisi
- Type de stylet – droit, étoile, pivotant ou configuration sur mesure
- Type de pointe de stylet – bille, cylindre, disque, hémisphère
- Taille de pointe de stylet pour minimiser l'impact des rugosités superficielles sur la précision de mesure

Toutes ces questions sont approfondies dans la brochure *Stylets de précision* de Renishaw (document H-1000-3304), téléchargeable sur www.renishaw.fr/stylets



Conclusion

Dans toutes les mesures, l'influence des stylets est critique car ils constituent une interface cruciale entre le capteur et la pièce. Ils permettent d'accéder à des entités tout autour de la pièce et doivent communiquer fidèlement l'endroit de la surface au palpeur. Pour permettre un contrôle précis, ils doivent être construits avec des composants de précision, réalisés individuellement à partir de matières correspondant aux critères de l'opération de mesure. Un bon stylet bien sélectionné n'aggraverait pas l'incertitude de manière significative et produirait des résultats cohérents et fiables. Lorsque les tolérances de pièces sont strictes et que des stylets plus longs sont nécessaires, l'impact de ces choix sur la précision doit être pris en compte avec soin.