

Technische Information

An vorderster Front - ein Leitfaden zur Auswahl des richtigen KMG-Tastereinsatzes

Bei der Entscheidung um die beste Messmethode eines Werkstücks auf einem Koordinatenmessgerät (KMG) werden viele Auswahlkriterien automatisch getroffen, da sie auf Erfahrungswerten basieren. Die Genauigkeitsspezifikation des KMGs, die am besten geeignete Tasterart (schaltend oder scannend) sowie die optimale Messmethode werden oftmals als gegeben angenommen und nicht in Frage gestellt. Dieses Fundament einer guten Messtechnik kann jedoch aufgrund ungeeigneter oder unbedachter Tastereinsatzwahl untergraben und die Messgenauigkeit somit beeinträchtigt werden.



Bei der Beurteilung der Genauigkeitsanforderung einer KMG-Messung ist es üblich, ein Verhältnis von Messunsicherheit (KMG) zur Toleranz (Merkmal) von mindestens 1:5 (1:10 ist ideal, kann sich aber in der Praxis oftmals als zu teuer erweisen) zu setzen. Dieses Verhältnis bietet eine Sicherheitsspanne, die gewährleistet, dass die Ergebnisse, im Vergleich zu dem zu erwartenden Streubereich des Werkstücks, eine relativ kleine Unsicherheit aufweisen. Solange ein 1:5 Verhältnis zur engsten Toleranz gewahrt werden kann, sollte hiermit die Debatte um die Genauigkeit beendet sein.

Leider kann ein scheinbar einfacher Vorgang wie der Tastereinsatzwechsel einen erstaunlich großen Einfluss auf die erreichbare, reale Genauigkeit haben und zu beträchtlichen Abweichungen der Messresultate führen.

Man kann sich bei der Überprüfung dieser Genauigkeit nicht nur auf die jährliche Kalibrierung des KMGs verlassen, da hierbei nur die Ergebnisse mit dem jeweils verwendeten

Tastereinsatz (der üblicherweise sehr kurz ist) bestätigt werden. Dies ist aller Wahrscheinlichkeit nach die „Best Case“-Genauigkeit. Zum besseren Verständnis der voraussichtlichen Präzision verschiedener Messungen muss eine Einschätzung erfolgen, in wie weit der Tastereinsatz zur Messunsicherheit beiträgt.



Die Spezifikation und Konfiguration des Tastereinsatzes kann die Genauigkeit der Messergebnisse beeinflussen

In diesem Dokument wird auf vier Hauptaspekte der Tastereinsatzauswahl und der daraus resultierende Einfluss auf die Gesamtgenauigkeit des KMGs eingegangen.

1. Rundheit der Tastkugel
2. Durchbiegung des Tastereinsatzes
3. Thermische Stabilität
4. Materialauswahl der Tastkugel (Scanning-Anwendungen)

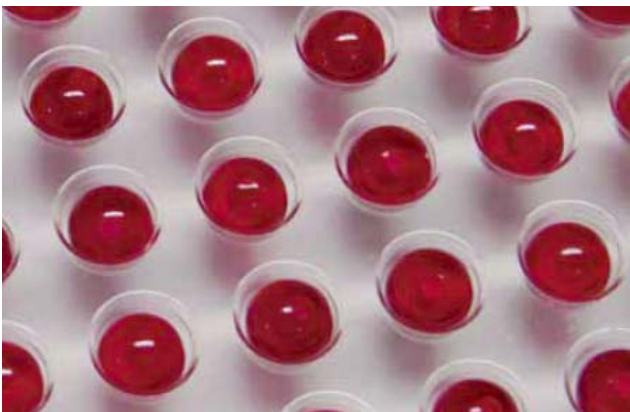


Runde Tastkugel aus Rubin

1. Rundheit der Tastkugel

Die Messspitzen der meisten Tastereinsätze bestehen aus einer Kugel, die üblicherweise aus synthetischem Rubin hergestellt wird. Alle Rundheitsfehler dieser Spitzen gehen in die Messunsicherheit des KMGs mit ein; dadurch können leicht bis zu 10 % der KMG-Genauigkeit verloren gehen.

Rubinkugeln werden in verschiedenen Präzisionsgraden hergestellt und in Güteklassen, die sich auf die max. Abweichung der Kugel von einer perfekt runden Kugel bezieht, eingeteilt. Die zwei gebräuchlichsten Kugelspezifikationen sind Güteklasse 5 und Güteklasse 10 (je niedriger die Klasse, desto besser die Kugel). Bei einer Herabstufung von Güteklasse 5 auf Güteklasse 10 verringern sich die Anschaffungskosten eines Tastereinsatzes ein wenig, aber das 1:5 Verhältnis kann schon durch diesen Unterschied negativ beeinträchtigt werden. Da die Güteklasse einer Kugel optisch nicht erkannt werden kann und auch anhand der Messergebnisse nicht offensichtlich ist, kann nur schwer errechnet werden, ob dies ins Gewicht fällt. Als Lösung dieses Problems könnte man Güteklasse 5 für Tastkugeln vorschreiben: Sie kosten etwas mehr, aber im Vergleich zu den Kosten, die entstehen ein gutes Werkstück eventuell als Ausschluss zu definieren, oder schlimmer noch, ein nicht konformes Werkstück als gut einzustufen, sind die Kosten minimal. Je genauer das KMG, desto bedeutender der Einfluss der Güteklasse der Kugel. Bei KMGs mit den höchsten Spezifikationen können hier Genauigkeitsverluste bis zu 10 % auftreten.



Für die anspruchsvollsten Anwendungen bietet Renishaw Tastereinsätze mit Tastkugeln der Güteklasse 3, die eine Formgenauigkeit von 0,08 μm besitzen.

Nachfolgend ein Beispiel...

Ein typischer Messfehler gemäß ISO 10360-2 (MPE_p), unter Verwendung eines Tastereinsatzes mit einer Kugel der Güteklasse 5:

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

Dieser Betrag wird durch das Messen von 25 einzelnen Punkten, die jeweils als 25 separate Radien bewertet werden, bestimmt. Das Spektrum der Radienabweichung ist der MPE_p -Wert. Die Rundheit der Tastereinsatzkugel trägt hierzu direkt bei, d. h., wenn eine Kugel der Güteklasse 5 durch eine der Güteklasse 10 ersetzt wird, dann erhöht sich der Wert um 0,12 μm und der Messfehler wird um 7 % degradiert. In unserem Beispiel bedeutet dies:

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

Außerdem ist zu beachten, dass auch der MPE_{THP} -Wert von der Rundheit der Tastereinsatzkugel beeinflusst wird. Für diesen Wert wird die Kugel zur Leistungsbeurteilung der Scanning-Messtaster an vier Bahnen gescannt.

Hinweise:

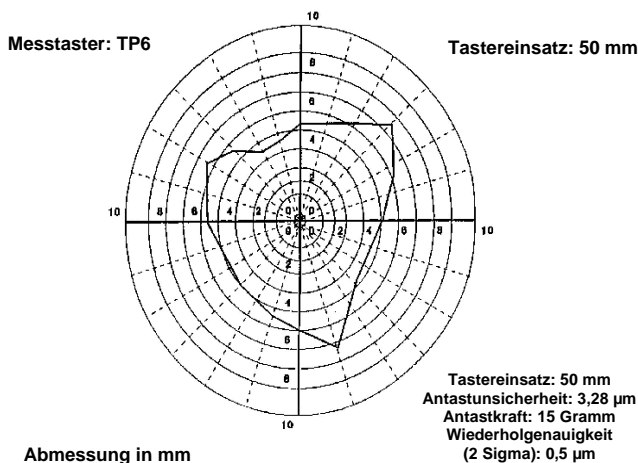
- Kugelgenauigkeit Güteklasse 5 = 0,13 μm
- Kugelgenauigkeit Güteklasse 10 = 0,25 μm

2. Durchbiegung des Tastereinsatzes

Bei Verwendung von schaltenden Messtastern, wie dem Industriestandard TP20, ist es üblich die Tastereinsatzmodule auszuwechseln, um die Vorteile verschiedener, für die jeweilige Messaufgabe optimierter Tastereinsätze zu nutzen. Lange Tastereinsätze werden nicht für alle Merkmale verwendet, da bei längeren Tastereinsätzen die Wahrscheinlichkeit von Messfehlern zunimmt. Der Tastereinsatz sollte so kurz und steif als möglich gewählt werden – aber weshalb?

Obwohl der Tastereinsatz nicht direkt für diesen Fehler verantwortlich ist, wird er durch die Tastereinsatzlänge potenziert. Der Fehler hat seinen Ursprung in der variablen Kraft, die zum Schalten des Messtasters in verschiedenen Richtungen erforderlich ist. Die meisten Messtaster schalten nicht in genau dem Moment, in dem der Kontakt zwischen Tastereinsatz und Werkstück hergestellt wird; sie benötigen eine gewisse Kraft, um den Federmechanismus des Sensors zu überwinden. Der Tastereinsatz wird durch diese Kraft elastisch verbogen. Aufgrund dieser Durchbiegung kann sich der Messtaster, nachdem der Kontakt hergestellt und bevor das Triggersignal erzeugt wurde, über eine kurze Distanz, relativ zum Werkstück, bewegen. Diese Bewegung wird als *Vorlauf* bezeichnet.

Durch die dreieckige, kinematische Anordnung der meisten Messtaster werden unterschiedliche Kräfte zur Erzeugung eines Schaltpunkts benötigt. Der Messtaster erzeugt in den steiferen Richtungen erst dann ein Signal, wenn der Tastereinsatz zu einem höheren Maß ausgelenkt ist. Dies bedeutet auch, dass sich das KMG weiter bewegt und der Vorlauf je nach Anfahrwinkel (siehe untenstehendes Diagramm) variiert. Diese *Antastunsicherheit* wird zusätzlich kompliziert, wenn zusammengesetzte Anfahrwinkel verwendet werden (X, Y und Z-Achsen).



Erforderlicher Anfahrwinkel / Vorlauf zum Schalten eines taktil schaltenden TP6 Messtaster (Darstellung in µm)

Um diesen Effekt zu minimieren, werden alle Tastereinsätze vor ihrer Verwendung anhand einer Bezugskugel mit bekannter Größe kalibriert. Im Idealfall würden durch diesen Vorgang die Fehler aller möglichen Tastereinsatz/Anfahrwinkel-Kombinationen kompensiert. In der Praxis werden aus Zeitgründen jedoch oftmals nur Stichproben der Winkel genommen und gemittelt, was dazu führen kann, dass ein kleiner Teil des Fehlers bestehen bleibt.

Ohne die Durchführung empirischer Tests ist es schwierig, die Effekte dieser Vorgehensweise auf die Messunsicherheit zu berechnen. Der Hauptfaktor, der hier beachtet werden muss ist, dass alle verbleibenden Antastfehler durch die Flexibilität des gewählten Tastereinsatzes potenziert werden. Die Wichtigkeit der richtigen Materialwahl in Bezug auf den Tastereinsatz, dem Abwägen zwischen der Biegesteifigkeit des Schaftes gegenüber anderen Eigenschaften wie Masse und Kosten, wird hier hervorgehoben. Während sich Stahl

(Elastizitätsmodul $E = 210 \text{ kN/mm}^2$) für viele kürzere Tastereinsätze anbietet, ist das steifste, häufig verwendete Material *Hartmetall* ($E = 620 \text{ kN/mm}^2$); aufgrund seiner Dichte wird Hartmetall allerdings nur selten für längere Tastereinsätze eingesetzt. In diesen Fällen bietet Kohlefaser eine hervorragende Kombination aus Steifigkeit ($E \geq 450 \text{ kN/mm}^2$) und geringem Gewicht. Schäfte aus Keramik ($E = 300 - 400$



Lange Tastereinsätze und Verlängerungen werden oft aus Kohlefaser hergestellt, für eine optimale Steifigkeit und minimale Masse

kN/mm^2) werden unterdessen oftmals für Messtasteranwendungen auf Werkzeugmaschinen eingesetzt, wo sie aufgrund ihrer geringen Masse und der thermischen Stabilität geschätzt werden.

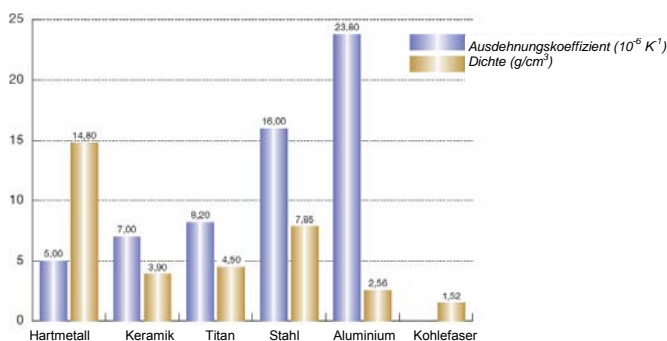
Die Steifigkeit der Tastereinsätze wird auch durch die Verbindungen der Tastereinsatzkonfigurationen beeinflusst. Als allgemeine Faustregel sollten Verbindungen, wo immer möglich vermieden werden, da sie Hysteresefehler verursachen können. Bei Verwendung eines starren Messtasters für Messungen komplexer Werkstücke kann allerdings nicht immer auf Verbindungen verzichtet werden. In diesen Fällen wird eventuell eine Konfiguration aus verschiedenen Tastereinsätzen, Verlängerungen, Anschlussstücken und Gelenken benötigt. Auch hier ist es wichtig, die Werkstoffe der jeweiligen Elemente entsprechend zu wählen, da sie die Steifigkeit, die Masse und die Robustheit der Konfiguration beeinflussen.



Komplexe Tastereinsatzkonfigurationen verlangen eine wohldurchdachte Materialwahl zur Erhaltung der Präzision

3. Thermische Stabilität

Temperaturschwankungen können erhebliche Messfehler verursachen. Die Wahl des richtigen Materials für Tastereinsatzverlängerungen kann unter wechselnden Bedingungen eine größere Stabilität bieten und für konsistentere Messergebnisse sorgen. Materialien mit einem niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten sind, besonders unter Verwendung langer Tastereinsätze, vorzuziehen, da die thermische Ausdehnung längenabhängig ist:



Relativer, thermischer Ausdehnungskoeffizient und Dichte des Tasterschaftmaterials

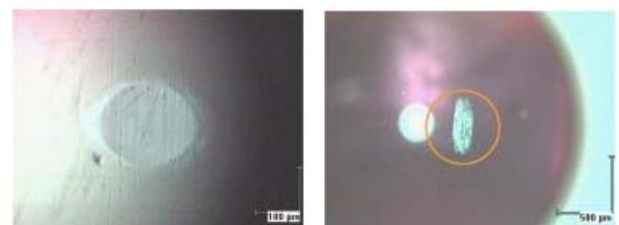
Wie zuvor angegeben wird für lange Tastereinsätze und Verlängerungen am häufigsten Kohlefaser eingesetzt, da es steif und leicht ist und keinen Längenänderungen aufgrund wechselnder Temperaturen unterliegt. Für Konfigurationen, bei denen Metalle notwendig sind, wie z. B. Verbindungen, Gelenke etc., bietet Titan die beste Kombination aus Festigkeit, Stabilität und Dichte. Renishaw bietet Messtaster und Tastereinsatzverlängerungen mit beiden Materialien an.

4. Materialauswahl der Tastereinsatzkugel

Für die meisten Anwendungen sind Tastkugeln aus Rubin die erste Wahl. In manchen Fällen erweisen sich jedoch andere Materialien als die bessere Alternative.

Bei schaltenden Messungen berührt die Tastspitze die Oberfläche nur kurzzeitig und es gibt keine Relativbewegung. Beim Scanning hingegen gleitet die Kugel entlang der Werkstückoberfläche und es entsteht Reibverschleiß. Dieser anhaltende Kontakt kann im Extremfall zu Materialabtrag oder Materialablagerungen an der Tastkugel führen, die die Formgenauigkeit beeinflussen. Die daraus entstehenden Folgen werden weiter verstärkt, wenn sich nur ein Bereich der Kugel in konstantem Kontakt mit dem Werkstück befindet. Renishaw hat umfangreiche Untersuchungen zu diesem Umstand durchgeführt und führt zwei unterschiedliche Verschleißmechanismen an:

- **Abrasiver Verschleiß** tritt beim Scannen von Oberflächen wie z. B. Gusseisen auf, wobei winzige Rückstandspartikel feine Kratzer am Tastereinsatz und Werkstück verursachen, die dann zu kleinen Abflachungen an der Kugel führen. Tastereinsatzspitzen aus widerstandsfähigem Zirkonoxid sind für diese Anwendungen die optimale Wahl.



Abrasiveverschleiß (links) führt zu Materialabtrag an der Tastkugel, adhäsiver Verschleiß (rechts) zu Materialablagerungen an der Tastkugel

- **Adhäsiver Verschleiß** entsteht, wenn zwischen der Tastkugel und dem Werkstückmaterial eine chemische Affinität besteht. Dies tritt beim Scannen von Werkstücken aus Aluminium mit einer Rubinkugel (Aluminiumoxid) auf. Material von diesem relativ weichen Werkstück bleibt am Tastereinsatz haften und an der Tastereinsatzspitze entsteht eine Aluminiumschicht, die die Formgenauigkeit beeinflusst. In diesem Fall stellt Siliziumnitrid die beste Materialwahl dar, da es eine gute Verschleißfestigkeit aufweist und nicht von Aluminium angezogen wird.

5. Weitere Faktoren

Bei der Auswahl eines Tastereinsatzes sollte außerdem Folgendes beachtet werden:

- Die Gewindegröße des Tastereinsatzes muss zum ausgewählten Messtaster passen
- Tastereinsatztyp – gerade, sternförmige, schwenkbare oder kundenspezifische Konfiguration
- Tastertyp – Kugel, Zylinder, Scheibe, Halbkugel
- Größe der Tastkugel, um den Einfluß der Oberflächenrauheit auf die Messgenauigkeit zu minimieren

Mehr zu diesen Themen finden Sie in der Broschüre *Präzisions-Tastereinsätze* (Dokument H-1000-3304). Die Broschüre kann unter www.renishaw.de/Tastereinsatz heruntergeladen werden.



Zusammenfassung

Tastereinsätze haben einen entscheidenden Einfluss auf alle Messungen, da sie als maßgebende Schnittstelle zwischen Messtaster und Werkstück agieren. Sie bieten Zugang zu Merkmalen am Werkstück und müssen die Oberflächenposition zuverlässig an den Messtaster weiterleiten. Um präzise Prüfungen zu ermöglichen, müssen sie aus Präzisionskomponenten, deren Material an die jeweiligen Anforderungen der Messaufgabe angepasst ist, aufgebaut sein. Der richtige Tastereinsatz, sofern sorgfältig ausgewählt, trägt nicht sehr zur Messunsicherheit bei und liefert konsistente und zuverlässige Messergebnisse. Bei engen Werkstücktoleranzen kombiniert mit langen Tastereinsätzen muss der Einfluss, den die Auswahl auf die Genauigkeit hat, sorgfältig abgewogen werden.