

## Technische informatie

# Op de spits - een gids over styluskeuze voor CMM's

Bij het bepalen van de beste manier om een product te meten op een coördinatenmeetmachine (CMM) worden veel keuzes gemaakt op een standaardwijze, omdat daarover al vele malen eerder zorgvuldig nagedacht is. De nauwkeurigheidsspecificatie van de CMM, het meest geschikte type taster (contact makend of scannend) en de optimale tastmethode worden vaak automatisch aangenomen en niet betwijfeld. Deze basis voor goede metrologie kan echter ondermijnd worden door een ongeschikte of niet weloverwogen keuze van de stylus, die mogelijk ten koste gaat van de meetnauwkeurigheid.



Om te bepalen hoe nauwkeurig een CMM-meting moet zijn, wordt voor de verhouding CMM-onzekerheid : vormtolerantie in de praktijk meestal minstens 1:5 genomen. Ideaal is 1:10, maar dat pakt in veel gevallen te kostbaar uit. Deze verhouding biedt een veiligheidsmarge, die garandeert dat de onzekerheid in de resultaten klein is ten opzichte van de verwachte spreiding in het product. Zolang een verhouding van 1:5 vast te houden is tot bij de krapste toleranties, behoeft de nauwkeurigheid geen verdere discussie.

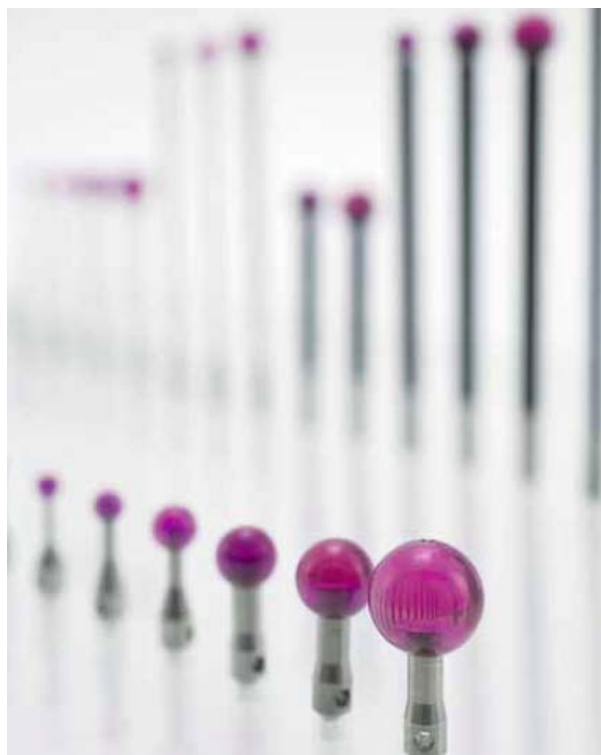
Helaas kan iets onschuldigs als de stylus van een taster verwisselen een verbazend grote invloed hebben op de werkelijk bereikte nauwkeurigheid, door een aanzienlijke variatie in de meetresultaten te veroorzaken. Tijdens de jaarlijkse CMM-kalibratie deze nauwkeurigheid controleren is niet afdoende, want dan komt alleen het resultaat met de stylus tijdens de (vaak zeer korte) test naar voren. Dat is waarschijnlijk de nauwkeurigheid in het gunstigste geval. Voor een completer inzicht in de te verwachten precisie bij een groter aantal metingen, is het nodig om na te gaan hoe de stylus bijdraagt aan de meetonzekerheid.



*De styluspecificatie en -configuratie kunnen de precisie van de meetresultaten beïnvloeden.*

Dit artikel behandelt vier belangrijke aspecten van de styluskeuze die van invloed zijn op de algehele CMM-nauwkeurigheid:

1. Bolvorm van de styluskogel (rondheid)
2. Buiging van de stylus
3. Thermische stabiliteit
4. Materiaalkeuze voor de styluspunt (scantoepassingen)



*Robijnkogels als styluspunt.*

## 1. Bolvorm van de styluskogel (rondheid)

De meeste styli hebben op de meetpunten een kogel, meestal gemaakt van synthetisch robijn. Elke fout in de bolvorm (rondheid) van deze punten speelt mee in de meetonzekerheid van de CMM. Liefst 10% van de CMM-nauwkeurigheid kan op deze manier gemakkelijk verloren gaan.

Robijnkogels worden gefabriceerd in verschillende precisieniveaus, uitgedrukt in een 'graad' die aangeeft hoeveel de kogel maximaal afwijkt van de perfecte bolvorm. De twee meest gebruikte kogeltypes zijn graad 5 en graad 10 (hoe lager de graad, hoe beter de kogel). 'Downgraden' van een graad 5 naar een graad 10 kogel levert een kleine kostenbesparing op, maar kan de verhouding 1:5 in gevaar brengen. Het probleem is dat de kogelgraad niet visueel vast te stellen is en niet concreet naar voren komt in meetresultaten, waardoor het moeilijk is het belang ervan te berekenen. Een oplossing is om standaard graad 5 kogels te specificeren. Die kosten wat meer, maar dat is zeer weinig in vergelijking met mogelijk een goed product weggooien of - erger nog - een slecht product door laten gaan. Daar komt bij dat het effect van de kogelgraad toeneemt naarmate de CMM nauwkeuriger is. Op deze manier kunnen CMM's van het hoogste niveau wel 10% van hun nauwkeurigheid verliezen. Een voorbeeld:

Gebruikelijke meetfout  $MPE_p$  volgens ISO 10360-2, vastgesteld met een stylus met graad 5 kogel:

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

Dit getal is bepaald door 25 discrete punten te meten, die geëvalueerd zijn als 25 afzonderlijke radii. Het bereik van de radiusvariaties is de waarde  $MPE_p$ . De rondheid van de styluskogel draagt direct hieraan bij. Overstappen van een graad 5 naar een graad 10 kogel verhoogt de waarde dan ook met  $0,12 \mu\text{m}$  en verslechtert de meetfout met 7%:

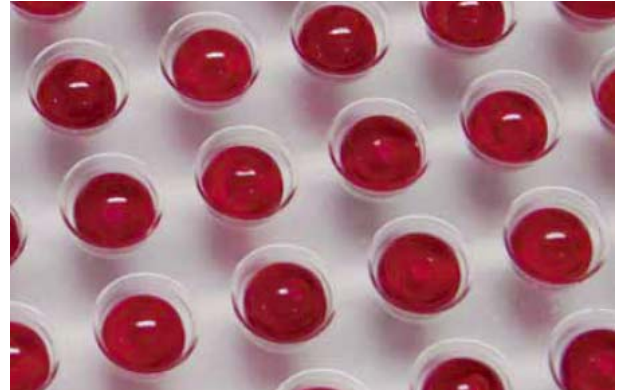
- $MPE_p = 1,82 \mu\text{m}$

De rondheid van de styluskogel is overigens ook van invloed op de waarde  $MPE_{THP}$ , die de scannauwkeurigheid aangeeft op basis van vier scantrajecten over een bol.

### Opmerkingen:

- Bolvorm graad 5 kogel =  $0,13 \mu\text{m}$
- Bolvorm graad 10 kogel =  $0,25 \mu\text{m}$

Voor de meest veeleisende toepassingen biedt Renishaw een reeks styli met graad 3 kogels, waarvan de bolvorm binnen slechts  $0,08 \mu\text{m}$  exact is.

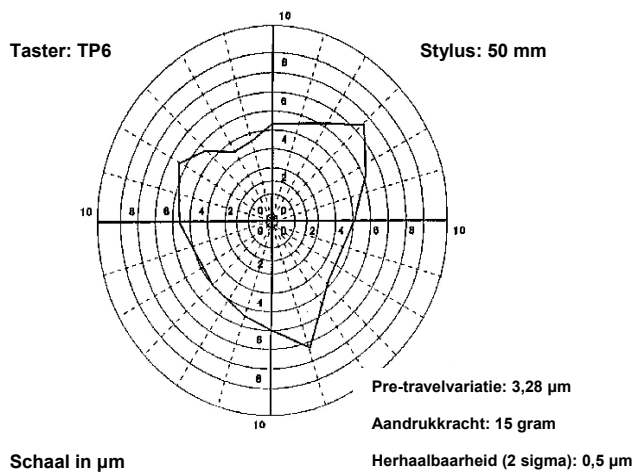


## 2. Buiging van de stylus

Bij het gebruik van schakelende meettasters zoals de toonaangevende TP20 wordt in de praktijk geregeld van stylusmodule gewisseld, om verschillende styli te kunnen gebruiken die elk voor een bepaalde meettaak geoptimaliseerd zijn. De reden waarom niet één lange stylus wordt toegepast voor alle metingen, is dat meer styluslengte gepaard gaat met minder nauwkeurigheid. Het is dan ook de gewoonte om de stylus zo kort en stijf mogelijk te houden, maar waarom?

Hoewel de stylus niet zelf deze specifieke fout veroorzaakt, vergroot hij deze wel naarmate de styluslengte toeneemt. De fout ontstaat doordat de kracht om de taster te activeren per richting verschillend is. De meeste tasters worden niet meteen geactiveerd wanneer de stylus met het product in contact komt, maar pas als kracht opgebouwd is om tegen de veerdruk binnen het tastermechanisme in te gaan. Deze kracht vervormt de stylus elastisch. Door de buiging beweegt de taster nog een stukje ten opzichte van het product nadat het fysieke contact tot stand kwam en voordat activering optreedt. Deze beweging wordt *pre-travel* genoemd.

Het driehoekige kinematische mechanisme van de meeste tasters resulteert in verschillende krachten om de taster te activeren. In sommige richtingen wordt de taster pas na een grotere doorbuiging geactiveerd. Ook de CMM beweegt dan verder. De *pre-travel* hangt dus af van de benaderingshoek (zie de figuur hieronder). Deze variatie van de *pre-travel* wordt nog gecompliceerder bij samengestelde benaderingshoeken (X-, Y- en Z-as).



*De pre-travel om een TP6 schakelende meettaster te activeren in afhankelijkheid van de benaderingshoek.*

Om dit effect te minimaliseren worden alle styli voor gebruik gekalibreerd met een referentiebol van bekende maat. Ideaal gesproken volgt hieruit een overzicht met de fouten bij elke combinatie van stylus en benaderingshoek. In de praktijk wordt om tijd te besparen een aantal hoeken genomen en daarna gemiddeld, waardoor een kleine fout kan blijven bestaan.

Het is moeilijk om het effect hiervan op de meetonzekerheid te berekenen zonder proefondervindelijk te testen. Een belangrijk aspect is dat eventuele restfouten vanwege pre-travelvariaties vergroot worden door de flexibiliteit van de gekozen stylus. Dit benadrukt het belang van de materiaalkeuze voor styli, waarbij de starheid tegen doorbuiging van de stift afgewogen wordt tegen andere criteria zoals gewicht en kosten.



*Voor lange styli en verlengstukken vormt koolstofvezel een optimale balans tussen stijfheid en gewicht.*

Staal is met zijn elasticiteitsmodulus  $E = 210 \text{ kN/mm}^2$  geschikt voor kortere styli, terwijl wolframcarbide ( $E = 620 \text{ kN/mm}^2$ ) wordt toegepast voor maximale stijfheid. Maar dat heeft ook een hoge dichtheid en wordt daarom zelden gebruikt voor lange styli. Koolstofvezel biedt hiervoor juist een uitstekende combinatie van stijfheid ( $E \geq 450 \text{ kN/mm}^2$ ) en laag gewicht. Verder worden stiften van keramiek ( $E = 300 - 400 \text{ kN/mm}^2$ ) vaak ingezet voor metingen op bewerkingsmachines, waar hun lage gewicht en thermische stabiliteit goed van pas komen.

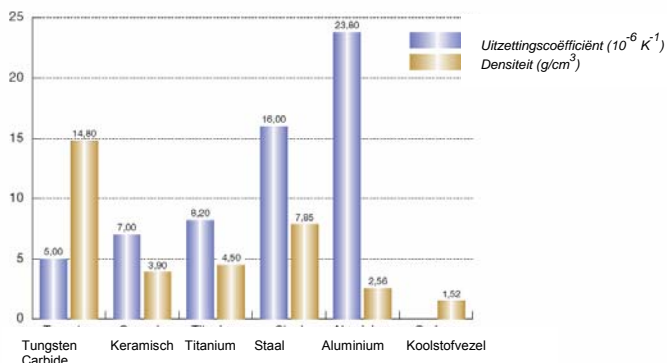
Bij samengestelde styli wordt de stijfheid ook beïnvloed door de koppelingen. In het algemeen is het beter om waar mogelijk koppelingen te vermijden omdat ze hysteresis kunnen introduceren, maar dat zal niet altijd lukken als met een vaste taster complexe producten gemeten moeten worden. In zulke gevallen kan een configuratie nodig zijn die is opgebouwd uit diverse styli, verlengstukken, aansluitingen en gewrichten. Ook hier is een zorgvuldige materiaalkeuze voor ieder element van belang, want die is mede bepalend voor stijfheid, gewicht en robuustheid van de configuratie.



*Om bij complexe stylusconfiguraties de precisie te handhaven is een zorgvuldige materiaalkeuze noodzakelijk.*

### 3. Thermische stabiliteit

Temperatuurfuctuaties kunnen grote meetfouten veroorzaken. Een goede materiaalkeuze voor stylusverlengstukken zorgt voor meer stabiliteit bij veranderende omstandigheden, zodat de meetresultaten consistent zijn. Materialen met een lage thermische uitzettingscoëfficiënt hebben de voorkeur. Zeker voor lange styli, aangezien de thermische uitzetting afhangt van de lengte:



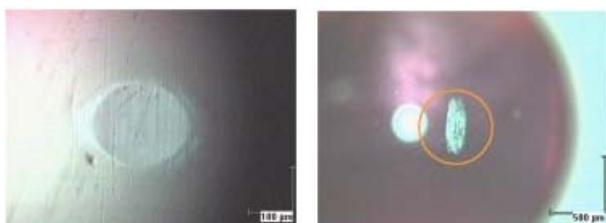
Thermische uitzettingscoëfficiënt en dichtheid van een aantal materialen voor stylusstiften.

Zoals al aangegeven wordt koolstofvezel het meest gebruikt voor lange styli en verlengstukken. Het is dan ook stijf en licht, en verandert bij temperatuurvariaties niet van lengte. Waar metalen nodig zijn (bijvoorbeeld voor koppelingen en gewrichten) biedt titanium de beste combinatie van sterkte, stabiliteit en dichtheid. Renishaw levert taster- en stylusverlengstukken in deze beide materialen.

#### 4. Materiaalkeuze voor de styluspunt

In de meeste toepassingen is een robijnkogel de standaardkeuze voor de styluspunt. Er zijn echter omstandigheden waarin andere materialen een beter alternatief vormen.

Bij metingen met een schakelende taster komt de styluspunt steeds maar even in contact met het oppervlak en is er geen relatieve beweging. Scannen verloopt anders, want daarbij glijdt de kogel over het productoppervlak en ontstaat slijtage door de wrijving. Extreem doorgevoerd kan dit langere contact ertoe leiden dat materiaal wordt verwijderd van of afgezet op de styluskogel, waardoor zijn bolvorm wordt aangetast. Deze effecten spelen des te sterker als altijd één kogelgedeelte in contact is met het product. Renishaw heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar deze verschijnselen, met name naar de twee volgende slijtagemechanismen:



Door abrasieve slijtage (links) wordt materiaal van de styluspunt verwijderd, terwijl bij adhesieve slijtage (rechts) productmateriaal op de styluskogel wordt afgezet.

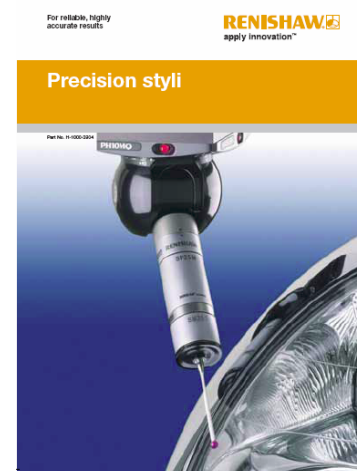
- **Abrasieve slijtage** ontstaat bij het scannen van een oppervlak van bijvoorbeeld gietijzer. Kleine losse materiaaldeeltjes maken krasjes op de stylus en het product, en geven zo de styluspunt een kleine platte kant. Styluspunten van taai zirconia zijn voor deze toepassingen de optimale keus.
- **Adhesieve slijtage** is het gevolg van een chemische affiniteit tussen de materialen van styluskogel en product. Dit kan gebeuren wanneer een aluminium product gescand wordt met een robijnkogel van aluminiumoxide. Van het relatief zachte product gaat materiaal naar de stylus, waardoor op de styluspunt een laagje aluminium ontstaat dat afbreuk doet aan de rondheid van de kogel. De beste keuze voor zulke situaties is siliciumnitride, dat een goede slijtvastheid bezit en niet reageert met aluminium.

#### 5. Andere factoren

Andere overwegingen bij het kiezen van een stylus zijn:

- Schroefdraad van de stylus: passend bij de te gebruiken taster
- Type stylus: recht, ster, oriënteerbaar of een configuratie op maat
- Type styluspunt: kogel, cilinder, schijf of halve bol
- Grootte van de styluspunt: minimale invloed van oppervlakteruwheid op de meetnauwkeurigheid

Al deze aspecten worden verder uitgewerkt in de brochure van Renishaw precisiestyli (document H-1000-3304), die te downloaden is op [www.renishaw.nl/styli](http://www.renishaw.nl/styli).



## Conclusie

Styli spelen in elke meting een cruciale rol, omdat ze de verbinding vormen tussen de taster en het product. Ze gaan naar de meetplaatsen rondom het product en moeten de positie van het oppervlak nauwkeurig aan de taster doorgeven. Om nauwkeurig te kunnen inspecteren, moeten ze bestaan uit precisiecomponenten die allemaal gemaakt zijn van materialen die voldoen aan de eisen van de uit te voeren meettaak. De juiste met zorg gekozen stylus levert consistente en betrouwbare resultaten, en draagt maar weinig bij aan de meetonzekerheid. Zijn de producttoleranties krap en lange styli vereist, dan is het nuttig om even stil te staan bij de effecten daarvan op de nauwkeurigheid. Kijk voor meer informatie op [www.renishaw.nl/styli](http://www.renishaw.nl/styli)