

Grondige precisie in kleine én grote coördinatenmeetmachines

Gecontroleerd bewegen, aftasten en plaatsbepalen, en dat in drie loodrechte richtingen. Dat is kortgezegd de essentie van een coördinatenmeetmachine. Dat zo'n precisiehulpmiddel wordt toegepast voor het geometrisch meten van kleine werkstukken, is overbekend. Maar dat zulke machines ook worden gebruikt om complete auto's te meten, is voor Nederlandse precisietechnologen best bijzonder. Wenzel Präzision in het Duitse Wiesthal is specialist in het ontwerpen en bouwen van coördinatenmeetmachines in allerlei formaten, met meetbereiken van 500 mm tot liefst 56 meter. Vakmanschap, flexibiliteit en een modulaire ontwerpfilosofie maken het mogelijk zo'n precisieproduct geheel volgens klantenwens in korte tijd te leveren.

• Frans Zuurveen •

W

Wenzel Präzision GmbH is een echt familiebedrijf. Werner Wenzel startte in 1968 samen met zijn vrouw en twee medewerkers in het landelijke Wiesthal – halverwege Frankfurt en Würzburg – de productie van kleine meetgereedschappen. In 1971 moest de kleine werkplaats worden uitgebreid en in 1980 bracht het bedrijf zijn eerste handbediende coördinatenmeetmachine op de markt. Nu werken er 330 mensen in Wiesthal en zes buitenlandse vestigingen, en zijn er in totaal ruim vijfduizend meetmachines verkocht. Op de Duitse markt is Wenzel tweede, achter koploper Zeiss.

Belangrijke klanten zijn de grote Duitse autofabrikanten. Een precisietechnoloog zou zich kunnen afvragen waarom bij het fabriceren van een 'grofstoffelijk' product als een automobiel behoefte is aan een grote meetmachine met een nauwkeurigheid van enkele tientallen μm 's. Maar autofabrikanten leggen de lat steeds hoger. Bij een tolerantie van bijvoorbeeld 0,5 mm voor de spleten tussen de plaatdelen, moet het gereedschap een factor 5 à 10 nauwkeuriger zijn. Datzelfde geldt dan nog een keer voor de meetmachine waarmee dat gereedschap wordt gecontroleerd. Een gelijksoortige redenering geldt voor de 1:4-schaalmodellen en



Afbeelding 1. Een Wenzel Smart CMM met hardstenen basisplaat wordt opgebouwd.

latere 1:1-modellen voor een nieuw ontwerp, waarvan de vorm van het plaatwerkgereedschap wordt afgeleid.

Ons land biedt nauwelijks een markt voor zulke grote meetmachines. Maar de kleinste machine in het Wenzel-programma, de Smart CMM met een meetgebied van 500 x 450 x 400 mm³, is wel degelijk interessant voor Nederlandse precisietechnologen; zie Afbeelding 1.

Ingrediënten

Wenzel beschikt over een scala aan disciplines voor de bewerking en toepassing van de diverse ingrediënten die samen een meetmachine vormen. Die ingrediënten hebben ieder hun eigenschappen qua prijs en kwaliteit en bepalen samen de uiteindelijke specificatie en kostprijs.

Ingrediënten zijn in de eerste plaats drie materialen voor de basisplaat: hardsteen, gietijzer en polymeerbeton. Verder wordt soms koolstofvezelversterkte kunststof voor de verticale kolom gebruikt. Voorts past Wenzel drie soorten sledegeleidingen toe: luchtlagers, kogelomloopsystemen en rollen. De sleden worden aangedreven door een tandriem met rondsels of door wrijvingswielen. De sledeposities worden steeds gemeten met Renishaw meetlinialen, die zijn uitgevoerd als een oprolbaar lint. Dat bedrijf levert ook de taster-systemen. De optische beeldsensor Phoenix en de standaard-software Metrosoft CM zijn eigen ontwikkelingen.

Door de combinatie van deze ingrediënten in een soort modulair bouwsysteem is het bedrijf – na overeenstemming met een klant – in het algemeen in staat een machine naar maat binnen vier tot zes weken af te leveren. Voor de Smart CMM gelden nog kortere levertijden, aangezien deze in serie in enkele jaarlijkse batches van twaalf stuks wordt geproduceerd. Hierna wordt dieper ingegaan op de genoemde ingrediënten en ten slotte worden de typen meetmachines behandeld die het resultaat zijn van het combineren ervan.

Basismateriaal hardsteen

In de meetmachines waarin de hoogste precisie wordt geëist, past Wenzel als basismateriaal hardsteen oftewel graniet toe. Daarbij gaat het meestal om complete basisplaten, maar er wordt ook met afzonderlijke geleidingsbalken gewerkt, die ten opzichte van elkaar op een stabiel fundament worden uitgericht.

Waarschijnlijk is dat wat doorgaans hardsteen of graniet wordt genoemd, geologisch gezien de steensoort ‘gabbro’, die zich onder meer van het echte graniet onderscheidt door de afwezigheid van kwarts. Kwarts beïnvloedt de stabiliteit van gesteente ongunstig en is dus een ongewenste component. Gabbro is een dieptegesteente dat miljoenen jaren geleden is ontstaan door het stollen van vloeibaar magma in de onderste delen van de aardkorst. Doordat de kristallen onder grote druk zijn gegroeid, is het materiaal uiterst homogeen en porievrij.

Het voordeel van het toepassen van een – moeilijk bewerkbaar en dus kostbaar – materiaal als hardsteen (deze term wordt verder gebruikt) is de grote vormstabiliteit. Verder zijn van belang de hoge slijtvastheid, de afwezigheid van remanent en geïnduceerd magnetisme, de hoge elektrische isolatiewaarde, de lage thermische uitzettingscoëfficiënt, de ongevoeligheid voor corrosie, de grote hardheid, de relatief kleine massadichtheid, de hoge elasticiteitsmodulus, de afwezigheid van inwendige spanningen, kruipverschijnselen en braamvorming, de lage wrijvingscoëfficiënt en last but not least de hoge inwendige demping.



Afbeelding 2. Een slijpsteen met inzetstukken van diamant voor de Waldrich Coburg slijpbank.



Afbeelding 3. Tot op een μm naleppen van hardstenen werkstukken



Afbeelding 4. Coördinatenboren van een basisplaat van polymeerbeton op een Edel Koordimatic. Let op het gelepte vlak rechts, voor de luchtlagering in de Y-richting.



Afbeelding 5. Een tweezijdig uitgeboorde kern van polymeerbeton. Uit de nauwelijks zichtbare overgang in het midden blijkt hoe nauwkeurig de wederzijdse boorgaten in één lijn liggen.

De ‘ruwe’ hardstenen platen en balken zijn bij de leverancier met diamantgereedschap gezaagd en al met een tolerantie van 0,5 mm gefreesd. Op een Waldrich Coburg slijp- en lep-machine met een draagvermogen van 19 ton en een werkgebied van 7 x 2,3 m² worden de werkstukken verder bewerkt; zie Afbeelding 2. Ten slotte zorgen werkers in de nalepruimte (temperatuur $\pm 0,2$ °C) met engelengeduld en Fingerspitzengefühl (zie Afbeelding 3) voor de eindbewerking met steeds fijnkorreliger leppasta's. Daarbij is het werkstuk opgelegd op de steunpunten van de uiteindelijke toepassing. Herhaaldelijk meten met elektronisch waterpas, autocollimator en interferometer levert de positie waar één of meer μm 's materiaal verwijderd moeten worden.

Vervangers voor hardsteen

De firma Epucet levert gegoten basisplaten en balken van polymeerbeton ('Mineralguss'): een mengsel van hardstenekorrels en een kunststofbinder. Dat materiaal is goedkoper dan hardsteen, is weliswaar iets minder stabiel, maar heeft het voordeel dat het in bijna iedere gewenste vorm kan worden gegoten. Polymeerbeton is qua prijs vergelijkbaar met gietijzer. Het is wat stabiel, sneller leverbaar en bovendien niet onderhevig aan corrosie. De elasticiteitsmodulus van polymeerbeton, 45 GPa, benadert die van hardsteen, 65 à 85 GPa (staal 210 GPa, gietijzer 100 GPa). Basisplaten van polymeerbeton worden eveneens nabewerkt op de Waldrich Coburg en krijgen hun uiteindelijke afwerking in de nalepruimte. Voornamelijk voor grote machines voor de automobiellindustrie past Wenzel platen en balken van gietijzer toe. Heel erg grote

meetmachines met hardsteen als basis komen tot stand door basisplaten nauwkeurig te koppelen. Het grootste product dat ooit bij het bedrijf is gemaakt, een meetmachine met een meetbereik in de Y-richting van 56 m, was het resultaat van het koppelen van acht hardstenen basisplaten van 7 m lengte.

Gaten in grote platen worden geboord op een reusachtige coördinatenboormachine, een Edel Koordimatic; zie Afbeelding 4. Een kolomboormachine boort met diamantgereedschap gaten in dikke platen van hardsteen en polymeerbeton, en wel vanaf twee zijden, omdat het verloop van de boring dan geringer is. Afbeelding 5 laat zien hoe nauwkeurig de beide boringen in lijn liggen.

Koolvezelversterkte kunststof ('carbon') wordt in de kleinere machines (onder meer de Smart CMM) toegepast in de verticale kolom ('Pinole') voor de Z-beweging. Dat materiaal is licht in gewicht, heeft een elasticiteitsmodulus die vergelijkbaar is met staal, en de thermische uitzettingscoëfficiënt is nagenoeg gelijk aan nul. In de eigen lakkerij wordt het gelakt om vochtname tegen te gaan.

Geleidingen

De sleden van de nauwkeurigste meetmachines worden geleid op luchtlagers; zie Afbeelding 6. Daarvoor wordt – uiteraard – olievrije lucht gebruikt met een druk van 4,5 à 5 bar. De nagenoeg constante luchtspleet is niet meer dan 1,5 μm groot, voor de kleine machines nog minder. Bijzonder is dat de hardstenen vlakken voor de luchtlagering deel uitmaken van de



Afbeelding 6. Een luchtlagergeleiding voor de Y-beweging.



Afbeelding 7. Een Renishaw meetliniaal 'van de rol' en het bijbehorende montagehulpstuk.

basisplaat uit één stuk, in tegenstelling tot de constructie van andere fabrikanten met een opgelijmde of -geschroefde balk.

Kogelomloopgeleidingen worden toegepast in machines waaraan iets minder hoge eisen worden gesteld. Het gaat daarbij om compleet ingekochte systemen, waarin kogels in nauwkeurig geslepen V-groeven rollen. Nog wat goedkoper en nog iets minder nauwkeurig zijn rolgeleidingen. Daarvoor worden 'gewone', maar wel geselecteerde kogellagers gebruikt. Ze rollen over roestvaste strips van verenstaal, zodat de slijtage gering is. Die strips worden op de basisplaat van polymeerbeton of gietijzer gelijmd.

Wrijfwielen of tandriempulley's zorgen voor de sledeaanrijving. De eerste zetten zich af op geharde ronde assen, de tweede op een stilstaande – eveneens opgelijmde – tandriem.

Meetlinialen

Het is verbazingwekkend te zien dat met – ogenschijnlijk simpele – Renishaw meetlinialen 'aan de rol' een resolutie van $0,1 \mu\text{m}$ wordt bereikt. Het basismateriaal is roestvast staal en de verdeling van $20 \mu\text{m}$ is beschermd door een opgedampte goudlaag. De linialen zijn uitgevoerd als zelfklevende tape en vinden toepassing in alle meetmachines. Bij het aanbrengen moet het gelepte vlak dat als drager fungeert, zorgvuldig vetvrij worden gemaakt. De meetliniaal wordt uiterst rechthoekig en evenwijdig aan de geleiding gemonteerd door op de desbetreffende slede een speciaal hulpstukje te plaatsen. Dat gereedschap drukt de liniaal tijdens het bewegen van de slede met reproduceerbare kracht tegen het

montagevlak; zie Afbeelding 7. Na het aanbrengen hardt de lijmlaag uit tot een permanente en degelijke verbinding.

Precisiemontage

In de voormontageruimte (zie Afbeelding 8) worden de meetmachines samengesteld. In volgende ruimten vinden de afmontage en kalibratie plaats. Afbeelding 9 toont de drie rubberdempers waarop de basisplaat rust. Om de allerhoogste ongevoeligheid voor omgevingsinvloeden te bereiken, kan een meetmachine ook worden uitgerust met vier actieve luchtdempers onder de uiterste hoeken van de basisplaat.



Afbeelding 8. De voormontageruimte. Op de basisplaten zijn duidelijk de luchtlagervlakken voor de Y-beweging te onderkennen.



Afbeelding 9. Een onderframe met drie rubberdempers waarop de basisplaat rust.



Afbeelding 10. Een Wenzel Mythos meetmachine met een meetgebied van 1000 x 1600 x 800 mm³.



Afbeelding 11. Een staandermeetmachine voor het meten van autobody's.

De nauwkeurigste Wenzel meetmachines zijn die van de serie Mythos (zie Afbeelding 10) met een gegarandeerde volumetrische meetonzekerheid van $1,5 + L/350 \mu\text{m}$, met L in mm. Deze machines – uiteraard geheel opgebouwd uit hardsteen en met luchtlagergeleidingen – hebben aan weerskanten hoog liggende jukken ('gantries') met balken voor de Y-geleiding. Over die balken beweegt een dwarsbalk die de X-slede draagt. Voor een hogere stabiliteit wordt die balk aan twee zijden in de Y-richting aangedreven. De gantry-constructie met hoge Y-geleidingen laat de machine beter aan het principe van Abbe voldoen: zoveel mogelijk bewegen en meten in één lijn. Hoekafwijkingen in de geleiding brengen daardoor geen of slechts geringe eerste-ordefouten teweeg.

Voor de auto-industrie maakt het bedrijf staandermeetmachines (Ständerbauart); zie Afbeelding 11. Op een gietijzeren basisplaat zijn afzonderlijke staanders gemonteerd, die ieder langs een eigen geleiding in de Y-richting bewegen. Iedere staander draagt een horizontale balk met X-slede, die in de Z-richting omhoog en omlaag kan bewegen. Deze machines zijn minder nauwkeurig dan portaalmachines, waarin de X-slede beweegt over het horizontale bovendeel van een portaal, dat op twee plaatsen over de basisplaat in de Y-richting wordt geleid.

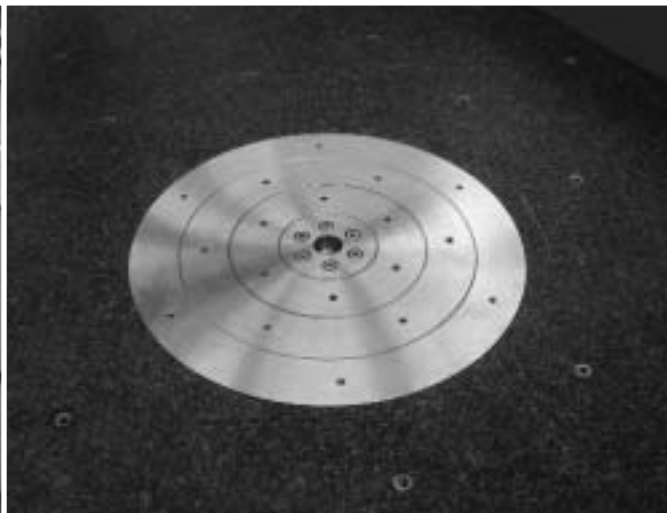
Ook tandwielmeetmachines – eventueel in combinatie met een portaalmachine – maken deel uit van het programma. De benodigde luchtgelagerde draaitafel kan daarbij zelfs in de hardstenen basisplaat worden geïntegreerd; zie

Afbeelding 12. Opmerkelijk is dat het tegenwoordig dankzij krachtige computertechniek mogelijk is tandflanken volgens (X,Y)-coördinaten te meten. Daarbij berekent de computer voor een hoeveelheid (X,Y)-meetpunten een best passende evolvente, waarna de afwijking van de ideale tandvorm als meetresultaat op het monitorscherm verschijnt. (Bij de conventionele tandflankmeetmethode, ook toegepast door Wenzel, beschrijft de meettaster een ideale evolventebaana, die het resultaat is van het afrollen van een rechte liniaal over een nauwkeurig ronde schijf, die de theoretische rolcirkel voorstelt.)

In bijna alle Wenzel meetmachines zorgt de standaardsoftware Metrosoft voor de uitwerking van de metingen tot een meetresultaat. Met Metrosoft zijn ook compleet automatische meetcycli via de zogeheten teach-in-methode te programmeren. Daarbij beweegt de meettechnicus allereerst de meettaster met de hand langs de diverse meetpunten, waarbij de baancoördinaten in het computergeheugen worden opgeslagen. Daarna geeft hij de bijbehorende grenswaarden op. De machine herhaalt vervolgens feilloos dat meetprogramma voor volgende identieke werkstukken en presenteert de afwijkingen van de opgegeven grenswaarden.

Kalibratie en eindcontrole

Afbeelding 13 laat zien hoe een compleet gemonteerde machine met een meetstandaard van Koba wordt gekalibreerd. Systematische, niet meer te corrigeren afwijkingen worden na de kalibratie verwerkt in de machinesoftware en



Afbeelding 12. Een luchtgelagerde draaitafel geïntegreerd in de basisplaat van een tandwielmeetmachine.

Afbeelding 13. Kalibratie van een meetmachine met Koba meetstandaarden.

later bij routinemetingen in rekening gebracht: softwarecompensatie.

Diverse slimigheden zorgen dat de afwijking in het eindproduct geringer is dan de som van de fouten in de afzonderlijke componenten. Allereerst wordt na de montage, waar nodig, door leppen hier en daar nog materiaal ter dikte van een μm of minder verwijderd. Tevens zijn er nog geringe correcties van de onderlinge haaksheid van de drie bewegingsrichtingen mogelijk. Verder meten sensoren tijdens het gebruik op diverse plaatsen in de machine en in het werkstuk de temperatuur. De machinesoftware zorgt vervolgens voor correctie van de meetuitkomsten als er onderlinge temperatuurverschillen of te grote afwijkingen ten opzichte van $20\text{ }^\circ\text{C}$ worden geconstateerd.

Tot slot

De kwaliteiten van Wenzel coördinatenmeetmachines zijn te danken aan slimme ontwerpen in combinatie met grondig vakmanschap en heel veel engelengeduld. Als die vierhonderd meetmachines per jaar de fabriek hebben verlaten, is het bedrijf er nog niet mee klaar. Want meettechnici zijn behulpzaam bij de installatie bij de klant, servicemedewerkers nemen de nazorg voor hun rekening en instructeurs zorgen dat toekomstige gebruikers degelijk worden opgeleid.

Het is in het vakgebied precisietechnologie makkelijk praten en schrijven over micrometers – en nanometers. Maar het daadwerkelijk in de praktijk van werkplaats en meetkamer omgaan met micrometers is toch iets anders. Die

praktijk vraagt om meetmachines die dag aan dag hun kwaliteit bewijzen.

Auteursnoot

Frans Zuurveen is freelance tekstschrijver te Vlissingen.

Informatie

Wenzel-WKP
Jacques Kisters, hoofd verkoop
Tel. 0455 - 66 00 66
www.wenzel-wkp.nl