

In twee dimensies, met

Maatafwijkingen, veroorzaakt door afwijkingen in de geleiding en als gevolg van thermische uitzetting, waren voorheen meestal onvoldoende te compenseren.

Nu kunnen deze afwijkingen met behulp van een nieuw meetsysteem van HEIDENHAIN worden gemeten en daardoor verminderd.

• DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH •

Voor verschillende technologieën die zich bezighouden met structuren en processen in het nanometergebied, wordt het begrip nanotechnologie gebruikt. Dit wordt gezien als de sleuteltechnologie voor de 21e eeuw. Een nanometer geeft een grens aan waaronder quantumfysische effecten een steeds belangrijker rol gaan spelen. Nanotechnologieën, bijvoorbeeld toegepast in de optica en de halfgeleiderindustrie, maken gebruik van machines en meet- en testapparatuur met een hoge positioneer- en herhalingsnauwkeurigheid. De gespecificeerde waarden liggen in de orde van grootte van 100 nm tot 1 nm en zelfs nog daaronder.

De in deze machines toegepaste meetsystemen moeten aan hoge eisen voldoen als het gaat om de kwaliteit van de signalen en de systeemnauwkeurigheid. Als positiemeetsysteem worden onder meer laser-interferometers of interferentiële optische meetsystemen ingezet. Beide typen meetsystemen bieden resoluties kleiner dan 1 nm.

Omgevingsfactoren

Laser-interferometers zijn te richten op het middelpunt van een gereedschap, zodat er geen Abbe-fouten ontstaan (Abbe-principe: meting en te meten verplaatsing liggen in dezelfde richting). Eén van de lastigste fouten van dit soort systemen is echter de afhankelijkheid van de golflengte van

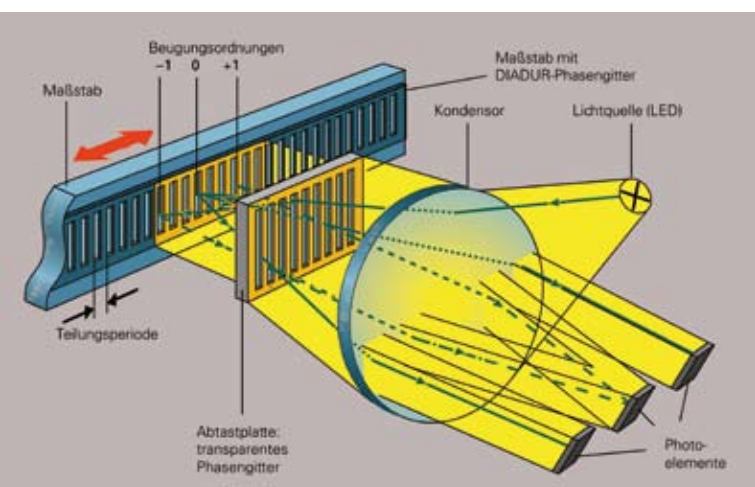
het laserlicht van omgevingsfactoren als temperatuur en druk. Deze factoren moeten zorgvuldig worden gemeten en afwijkingen moeten voortdurend worden gecompenseerd. Elke, nog zo kleine, verandering in de temperatuur en de luchtdruk leidt tot een verandering van de golflengte van het licht. Zelfs onder laboratoriumomstandigheden ontstaan er positieafwijkingen van ± 50 nm bij een meetweg van 500 mm. Uitlijnfouten van de laser, die in de loop van de tijd veranderen, leiden tot cosinus- of Abbe-fouten die voortdurend moeten worden gekalibreerd.

Interferentieel aftastprincipe

Stabiele maatverdelingen hebben meestal een gedefinieerd thermisch gedrag en zijn niet afhankelijk van veranderingen in de luchtdruk. De maatverdelingen van de meetsystemen uit de serie LIP, LIF en PP van HEIDENHAIN hebben zich de laatste jaren als stabiel bewezen.

Hieraan ligt het interferentiële aftastprincipe ten grondslag. Dit principe maakt gebruik van de buiging en interferentie van lichtstralen. Hiermee worden signalen gegenereerd waaruit zich een beweging laat bepalen; zie Afbeelding 1. Bij een relatieve beweging tussen maatverdeling en aftastplaat (faserooster) ondervinden de afgebogen lichtstralen een faseverschuiving.

over X- en Y-as, één liniaal



Afbeelding 1. Het interferentiële aftastprincipe genereert signalen waaruit zich een verplaatsing laat bepalen.

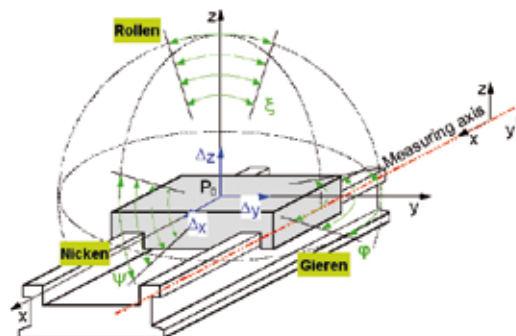
Bij een verplaatsing van één delingsperiode (roosterconstante) verschuift de lichtstraal van de positieve eerste-orde-buiging met één golflengte in de plusrichting, de lichtstraal van de negatieve eerste-orde-buiging verschuift één golflengte in de minrichting. Omdat deze lichtstralen bij het verlaten van het rooster met elkaar interfereren, verschuiven deze stralen twee golflengtes. Daarom krijgt men bij dit aftastprincipe twee signaalperioden bij een relatieve verschuiving van één delingsperiode.

Interferentiële meetsystemen werken met roosterconstanten van bijvoorbeeld $8 \mu\text{m}$, $4 \mu\text{m}$ of nog kleiner. Hun aftastsignalen zijn verregaand vrij van hogere harmonischen en ze kunnen heel ver worden geïnterpoleerd. Daarom zijn deze signalen bijzonder geschikt voor hoge resoluties en hoge nauwkeurigheden. Bovendien hebben deze signalen een goede inherente herhalingsnauwkeurigheid. Daarbij zijn de aanbouwtoelanties in de praktijk zeer werkbaar.

Invloed geleiding

Alle lineaire geleidingen vertonen hoekfouten (zwenken, gieren en rollen) en lineaire geleidingsfouten (rechtheid en vlakheid); zie Afbeelding 2. Deze afwijkingen bedragen in

het algemeen tussen de 5 en $100 \mu\text{rad}$, respectievelijk tussen de 0,5 en $5 \mu\text{m}$. De relevante statistische spreiding van deze afwijkingen vormt slechts een klein deel van deze afwijkingen en bij luchtlagers is deze bovendien uiterst gering. Hoekgeleidingsfouten leiden lokaal tot het kippen en in het geval van een Abbe-fout tot een lengteverstelling van het meetsysteem en daarmee tot onnauwkeurigheden in de machine; zie Afbeelding 2.



Afbeelding 2. Geleidingsfouten beïnvloeden de nauwkeurigheid van de machine.

Invloed temperatuur

Temperatuurveranderingen in de meettechniek zijn echte spelbrekers als het gaat om nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid. De nauwkeurigheid blijft door ingewikkelde constructies en door het gebruik van de juiste materialen en door aanvullende maatregelen (bijvoorbeeld actieve koeling) toch beperkt.

Thermisch veroorzaakte veranderingen in de geometrie van de machine zijn wiskundig te compenseren, echter wel met beperkingen. Het meten van de temperatuur met sensoren ten behoeve van een lineaire compensatie is ook weer afhankelijk van factoren zoals:

- de kwaliteit van de sensoren;
- de juistheid van de plek van meten;
- het verouderen van de sensoren;
- regelmatig vervangen door gekalibreerde sensoren.



Afbeelding 3. Het nieuw meetsysteem van HEIDENHAIN, LIF 481 IDplus.

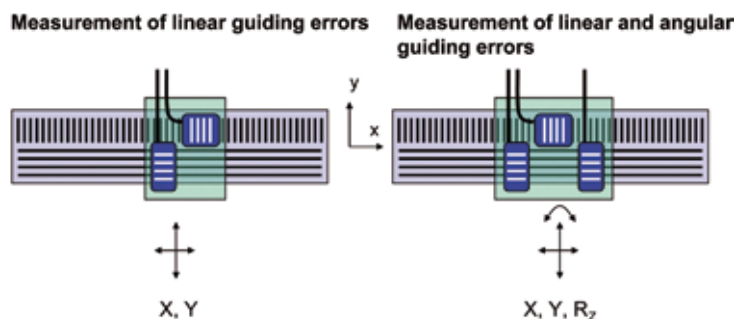
Lineaire aandrijvingen, zeker zoals toegepast in snelle machines, vormen hittebronnen die thermomechanische afwijkingen kunnen veroorzaken. Portaalassen behoeven gezien hun complexe opbouw daarbij bijzondere aandacht. Op de weg naar nanometerprecies positioneren, in productie- en meetprocessen, vormen geleidingsfouten een hele uitdaging.

Real-time corrigeren

In antwoord daarop is er nu een nieuw meetsysteem van HEIDENHAIN, LIF 481 IDplus; zie Afbeelding 3. Dit in twee richtingen metende systeem heeft, behalve het gebruikelijke langsspoor, de X-as, met de interferentiële aftasting van de al bekende LIF (signaalperiode 4 µm), ook een loodrecht daarop staand spoor, een Y-as.

Het langsspoor heeft nog steeds één referentiemerk. Zoals bij HEIDENHAIN gebruikelijk, is de met het referentiemerk vastgelegde absolute positie van de liniaal aan één bepaalde meetstap gekoppeld. Als delingsdrager wordt Zerodur keramisch glas toegepast. Daarmee is de uitzettingscoëfficiënt van $0 \pm 0,1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ over een groot temperatuurbereik nauwkeurig en wordt een hoge bestendigheid tegen veroudering bereikt.

Door een juiste rangschikking van twee, respectievelijk drie aftastkoppen worden met het meetsysteem lineaire geleidingsfouten, hoekgeleidingsfouten en invloeden van thermische uitzetting gemeten en gecorrigeerd; zie Afbeelding 4. De real-time meting en correctie van de werkelijk gemeten waarden verbetert de nanometerpositionering.

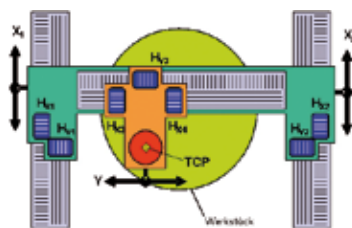


Afbeelding 4. Door rangschikking met twee of drie aftastkoppen worden onder meer invloeden van thermische uitzetting gecorrigeerd.

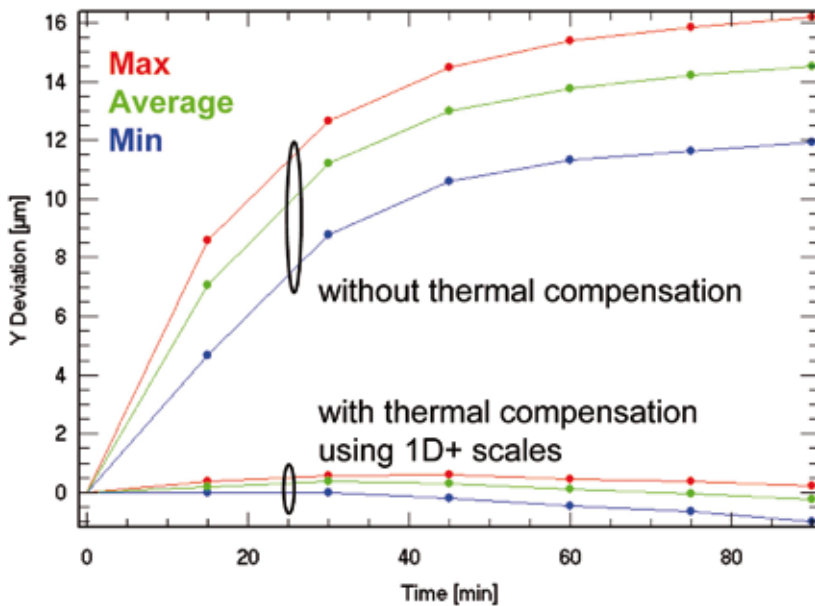
Testen

De hoge verwachtingen van dit meetsysteem worden bevestigd door de resultaten van een test. Op een portaalmachine werden IDplus-meetsystemen gemonteerd; zie Afbeelding 5. De X-as is met 2 aftastkoppen H_{x1} en H_{x2} in een fantoom-rangschikking van de linialen uitgerust. Wanneer het gereedschapsmiddelpunt (TCP) ook in de Z-richting uitgericht is op de draaipunten H_{x1} en H_{x2} , zijn alle Abbe-verstellingen van de X-as gelijk aan 0.

De aftastkoppen H_{y1} en H_{y2} herkennen rechtheidsfouten (y) van de X-as geleiding en gedeeltelijk ook de invloeden van thermische uitzetting. Aan de Y-as kunnen de aftastkoppen H_{x3} en H_{x4} voor de correctie van rechtheidsfouten in de X-as en voor de Abbe-verstelling in de X-as worden gebruikt; zie Afbeelding 6.



Afbeelding 5. Portaalopstelling met het meetsysteem.



Afbeelding 6. Invloed van thermische uitzetting op de machine-assen.

Conclusie

De inherente herhalingsnauwkeurigheid van de huidige interferentiële meetsystemen met hoge resolutie is vele malen beter dan die van interferometers in lucht. Het effectieve meetpunt van technisch volwassen meetsystemen is stabiel en nauwelijks afhankelijk van kip-bewegingen. Meetsystemen met 1Dplus linialen, met een aanvullend loodrecht op de meetrichting staand spoor, dragen er aan bij dat Abbe-fouten en de afwijkingen in de lineaire geleidingen als gevolg van thermische uitzetting kunnen worden

gereduceerd. Het aanvullende spoor levert de noodzakelijke informatie op voor de correctie in dwarsrichting en ten behoeve van de hoekcorrectie.

Informatie

www.heidenhain.nl