

Harmonische analyse bij rondheidsmeting

J.W. van Beek

Een rondheidsmeting geeft de afwijking van de ideale ronde vorm van een produkt weer. Grote afwijkingen als ovaliteit en driepuntsonrondheid kunnen vaak makkelijk in een rondheidsgrafiek herkend worden. Ze zijn het gevolg van afwijkingen in het fabricageproces die hun sporen ("vingerafdruk") op het produkt hebben afgebeeld. Kleinere afwijkingen zijn moeilijk of in het geheel niet met het blote oog in een rondheidsgrafiek te herkennen. Door toepassing van harmonische analyse kan het rondheidsmeet-signaal worden geanalyseerd naar grootte en frequentie. Aan de hand van de frequentie en met de nodige kennis van de bewerkingsmachines en -processen blijkt het mogelijk een vermoedelijke oorzaak voor de afwijkingen aan te geven. De meting is zo gevoelig dat men door regelmatige meting van produkten die met dezelfde machine gefabriceerd zijn, de verandering in kwaliteit (bijvoorbeeld door lagerslijtage) van de machine kan waarnemen.

Rondheidseigenschappen

Een rondheidsgrafiek herhaalt zich per definitie eenmaal per omwenteling, en is dus te ontbinden in harmonischen. Gesuperponeerd op die ene omwenteling zijn kortgolfiger verschijnselen waarneembaar, die eveneens repeteren zodat het rondheidssignaal nog steeds in harmonischen te ontbinden is.

De eerste harmonische van het complete verschijnsel — het gemeten rondheidssignaal — is een maat voor de *excentriciteit* van de onderzochte doorsnede, de tweede vooral voor de *ovaliteit*. *Driepuntsonrondheid* komt vooral tot uiting in de derde harmonische, enz.; zie figuur 1.

Naarmate een gemeten doorsnede meer afwijkt van de ideale rondheid

Harmonische analyse

Harmonische analyse is een rekenmethode waarmee periodiek optredende signalen kunnen worden ontbonden in harmonische trillingen.

De voorstelling berust op een door Fourier aangegeven rekenwijze om een repeterend signaal te analyseren (uiteen te rafelen, ontbinden) in een aantal *harmonischen*, de *Fourier-reeks*. Harmonische analyse heet daarom ook wel *Fourier-analyse*. De som van alle door analyse gevonden harmonischen levert weer het oorspronkelijke, repeterende signaal op.

Definities

Een *periodiek* of *repeterend signaal* is een signaal dat zich met tussenpozen herhaalt. Een zaagtand is een voorbeeld van een periodiek signaal, een blokspanning zoals getekend in figuur A ook.

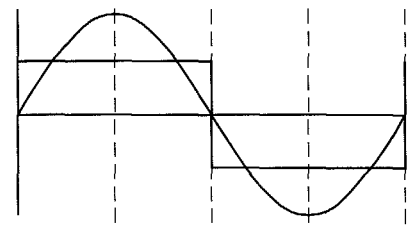
Een *harmonische trilling*, in dit verband kortweg ook wel "harmonische" genoemd, is een zuiver sinusvormige trilling met constante frequentie, die formeel genomen ook nog oneindig lang zal voortduren. In de praktijk betekent dit dat de trilling geen dempings- of opslingeringsverschijnselen mag vertonen, met andere woorden dat ook de amplitude strikt constant is.

zijn er meer harmonischen, en vaak ook een aantal harmonischen met grotere amplitude (uitgedrukt in μm), in het spel. Omgekeerd valt er op het gebied van de harmonischen minder te beleven, naarmate een doorsnede perfect rond is.

Harmonisch profiel

De presentatie van de analyse - resultaten gebeurt in een zogenoemd *harmonisch profiel*, dat is een *histo-*

De harmonische met de laagste frequentie, die in eerste aanleg op het repeterende signaal past, heet de *eerste harmonische* of *grondharmonische*. De verdere, samenstellende harmonischen zijn alle *hogere harmonischen*.



Figuur A.

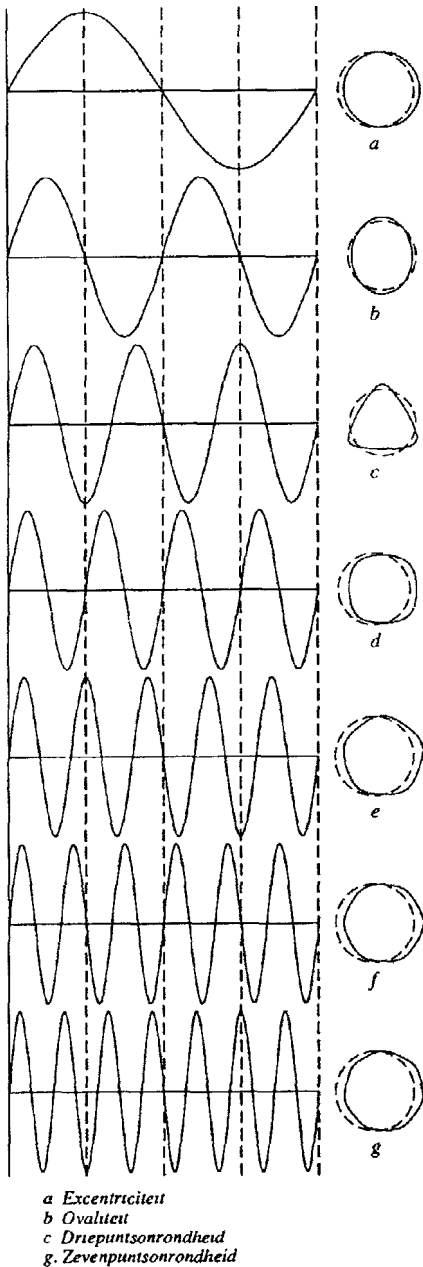
Van frequentie naar repetentie

In het bovenstaande heeft "frequentie" de letterlijke betekenis "aantal per tijdseenheid".

In de geometrische meettechniek hebben we vaak te maken met een equivalent hiervan, "aantal per lengte eenheid". Dat aantal heet dan *repetentie*. In dat verband zijn harmonischen zuiver sinusvormige golven met een zodanige frequentie, dat het beschouwde interval juist een geheel aantal golfperiodes bevat. De repetentie wordt overeenkomstig uitgedrukt in golven per omwenteling (*upr = undulations per revolution*).

gram of *kolomendiagram* dat de amplitudes van de optredende harmonischen toont als functie van de frequentie.

Daarnaast kunnen de resultaten ook weergegeven worden in een *amplitude-tabel* en in een *fase-tabel*. De amplitude-tabel geeft de groottes van de amplituden die een bepaald, vooraf ingesteld drempelniveau te boven gaan. De fase-tabel geeft informatie over de plaats van optreden van de betrokken amplitude.



Figuur 1.

Het drempelniveau is een hulpmiddel om de in het histogram optredende pieken te selecteren en numeriek af te drukken. Het kan tevens een hulpmiddel zijn bij het onderling vergelijken van meetresultaten, waarbij men de amplituden en frequenties vergelijkt die het gekozen drempelniveau te boven gaan.

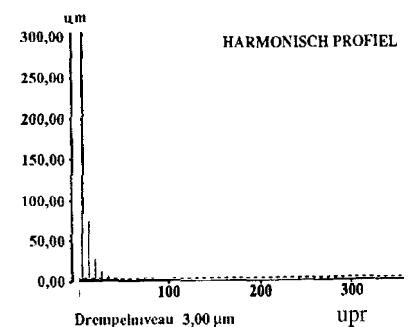
In figuur 2b is te zien dat alleen de eerste harmonische het ingesteld drempelniveau te boven gaat met een amplitude van 0,15 µm.

Zevenpuntsonrondheid zoals getekend in figuur 1g komt onder andere voor bij het Britse 50 pence-stuk, zie figuur B, lengtemeettechnisch gezien een van de meest interessante munten ter wereld. De doorsnede van de munt is in alle richtingen dezelfde, wat licht tot de foute conclusie zou kunnen leiden dat zij zuiver rond is. Harmonische analyse van de rondheidsgrafiek levert echter een krachtige 7e harmonische op, in overeenstemming met de werkelijke vorm, zie figuur C. Daarnaast zijn ook de 14e, 21e, 35ste en 42ste harmonische nadrukkelijk aanwezig, terwijl tussenliggende harmonischen geheel ontbreken.

Dat zo'n prachtig product met zulke bijzondere meettechnische eigenschappen voor minder dan f 1,50 in ieders bezit kan komen is óók bijzonder. Een aanbeveling voor de praktica in geometrische meettechniek.



Figuur B.



Figuur C

Enkele punten van houvast bij de beoordeling van het harmonisch profiel van een rond voorwerp:

- 1^e Harmonische: Louter een gevolg van de meting. De amplitude van deze harmonische is gelijk aan de *excentriciteit* van het meetstuk ten opzichte van de spilhartlijn van de rondheidsmeter.
- 2^e Harmonische: Gevolg van de meting of de bewerking. Beschrijft het effect dat gewoonlijk met "ovaliteit" wordt aangeduid. Treedt op als de as van het meetstuk niet evenwijdig is aan de spilhartlijn van de rondheidsmeter, of als tijdens de vervaardiging het werkstuk met haaks op de rotatie-as van de gereedschapsmachine was opgespannen.
- 3^e - 7^e Harmonische: Gevolg van de bewerking, met name van de inspanning van het werkstuk. Goed herkenbaar zijn bijvoorbeeld de drie lobben zoals die ontstaan als gevolg van inklemming in een klauwplaat met drie bekken.
- 7^e - 15^e Harmonische: Meestal een gevolg van de bewerkingsmethode en van de stabiliteit van het bewerkingsproces.

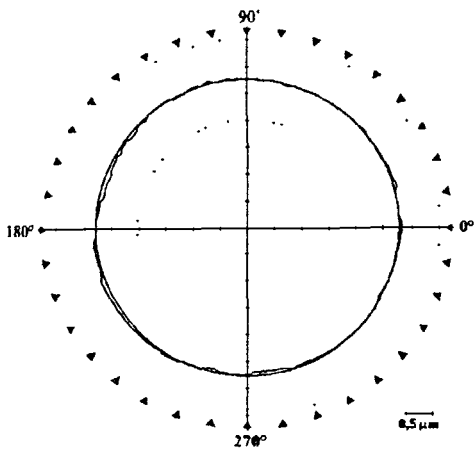
- 15^e - 500^{ste} Harmonische: Meestal een functie van het materiaal en het bewerkingsproces. Instabiliteit van het laatste, trillingen veroorzaakt door haperende lagers, slijtage van het snijdend gereedschap en onvoldoende effect van het smeermiddel komen hier tot uiting.

Experimenten

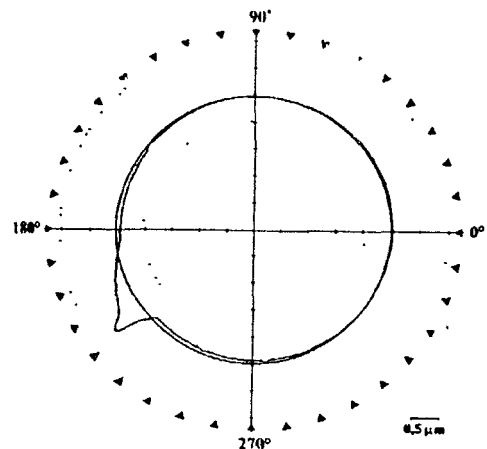
Ter toetsing van het bovenstaande voeren we nu enkele elementaire exercities uit met de cilinder van figuur 2. De resultaten daarvan zijn samengevat in tabel 1. Zowel de excentriciteit als

	Excentriciteit [µm]	Amplitude [µm]	
		1 ^e	2 ^e
Optimale uitrichting	0,15	0,15	
Opzettelijke excentriciteit	1,55	1,55	
Kanteling	0,00	< 0,05	0,10
Excentriciteit en kanteling	3,05	3,05	0,10

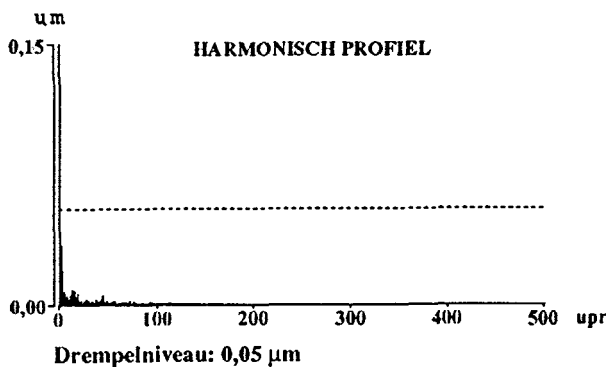
Harmonische analyse bij rondheidsmeting



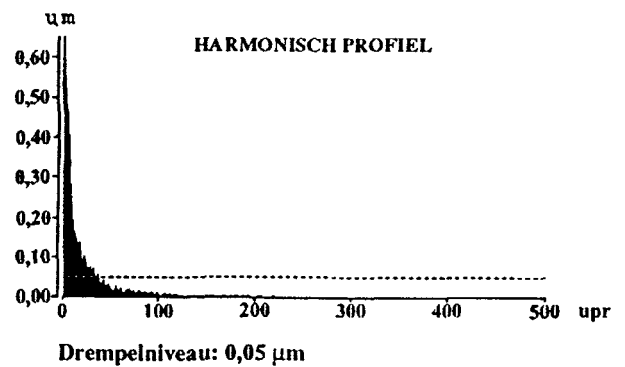
a. Rondheidsgrafiek van een heel mooi ronde cilinder, die perfect is uitgericht



a. Rondheidsgrafiek



b. Het bijbehorende harmonische profiel



b. Harmonisch profiel. Vele harmonischen (t/m de 38ste!) overschrijden het drempelniveau

Figuur 2.

Figuur 3.

de kanteling zijn veroorzaakt door een geringe verdraaiing van de stelschroeven van de steltafel op de rondheidsmeter. Een minimale kanteling wordt direct zichtbaar in de amplitude van de tweede harmonische.

Harmonischen als gevolg van excentriciteit en kanteling van de cilinder in figuur 2.

Dat het spreekwoordelijk verband tussen kleine oorzaken en grote gevolgen zeker opgaat voor harmonische analyse, moge blijken uit figuur 3.

Hoe kritisch harmonische analyse is, blijkt ook uit figuur 4, waarin de invloed van verschillende wijzen van beitel-aanzet op het werkstuk tot uitdrukking komt. Let bij de vergelijking van beide profielen vooral op de schaal, en op de ligging van het drempelniveau ("discrimination level").

Nauwkeurigheid

Door strikte toepassing van het Fourier-algoritme is tot 100 upr de onzekerheid in de bepaling van de harmonischen verwaarloosbaar. Daarboven, van 100 - 500 upr, gaan door de kleine amplitudes de meetonzekerheden in het signaal een significantere rol spelen en loopt de onzekerheid op van nul tot bijna $\pm 5\%$.

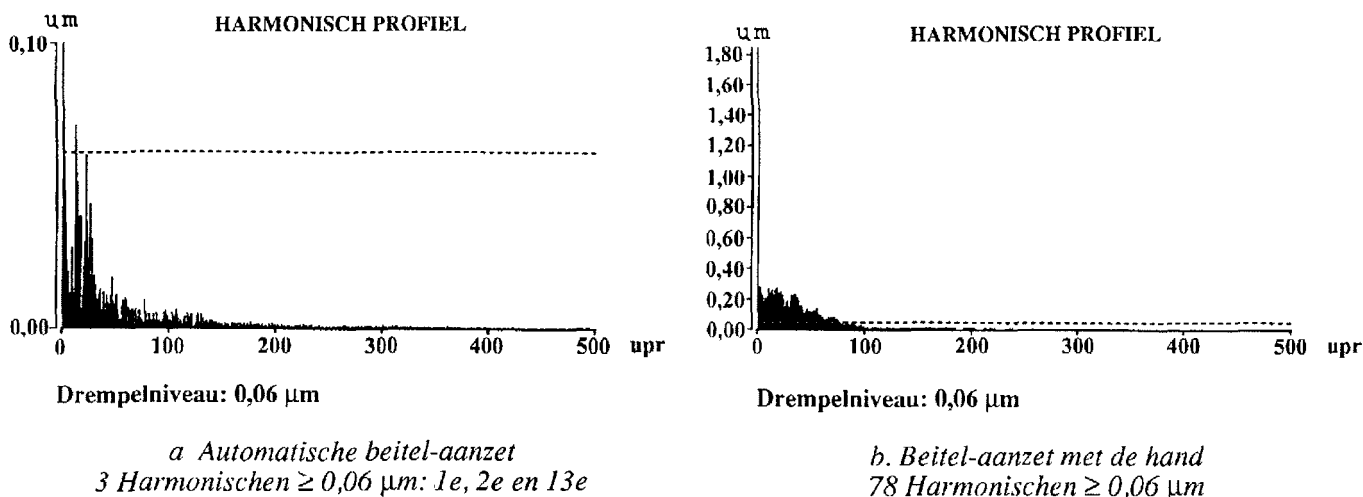
Diagnose door harmonische analyse

De harmonische analyse van rondheidsgrafieken is een zo krachtig en belangrijk gereedschap voor de beoordeling van bewerkingsprocessen, dat Rank Taylor Hobson het standaard in de software van rondheidsmeters met PC meeleverd.

Lagers die niet meer optimaal functioneren gaan hogere frequenties produ-

ceren. Altijd! Soms zo erg dat het te horen is.

Met harmonische analyse in huis behoeven we echter niet op de hoorbare signalen te wachten voordat we ingrijpen. De micro-haperingen van een niet meer perfect werkend lager worden, reeds lang voordat van een echte storing sprake is, afgebeeld op het werkstuk. In de frequentiegrafiek, verkregen via harmonische analyse, blijkt dan dat er behalve de standaard lage frequenties - die er altijd zijn - plotseling in het hoge frequentiegebied ook signalen optreden. Dit is een zekere aankondiging dat er op termijn, misschien zelfs pas na maanden, een lager kapot zal gaan. Met deze voorkennis kunnen opsporing en vervanging van het lager gepland worden nog voordat schade, waaronder produktieuitval, optreedt.



Figuur 4.

Harmonische analyse als vingerafdruk

Met harmonische analyse in huis kan men nog een stap verder gaan. Van draaimachines, slijpmachines enz. kan het gedrag in nieuwtoestand vastgelegd worden door onder bepaalde condities een cilinder te fabriceren, en die op rondheid te meten en te analyseren. Het harmonisch profiel wordt zo een soort van identiteitsregistratie, een vingerafdruk van het produktiemiddel. Met die vingerafdruk als referentie zijn bij volgende metingen uit een

van de beschouwde machine vroegtijdig te herleiden.

Daarnaast zal die originele registratie haar nut bewijzen na calamiteiten zoals een exploderende slijpsteen of een geblokkeerde hoofdas. Harmonische analyse geeft dan een indicatie of de schade echt hersteld is, of dat de ramp nog groter is dan zich op het oog laat vaststellen. Van niet te onderschatten belang ook bij verzekeringszaken!

Van de algemeen aanvaarde noodzaak tot periodieke herkalibratie van standaarden, naar de noodzaak om roteren-

de gereedschapsslijpmachines via harmonische analyse periodiek op hun merites te beoordelen (kwaliteitshandboek!) is niet zo'n grote stap. Wel een stap die veel uitval kan voorkomen.

Auteursnoot

Dr. ir ing. J.W. van Beek is directeur van het Meet- en Kalibratielaboratorium Schut Rotterdam (MKL), de Rotterdamse vestiging van Schut Geometrische Meettechniek BV. Het artikel is een voordruk uit de nieuwe Atlas der Geometrische Meettechniek, die in 1994 zal verschijnen. Daarin wordt ook de berekening van de Fourier-coëfficiënten behandeld.

Actueel

"DEAL": elektronische informatie-uitwisseling binnen bedrijven

Vooraanstaande leveranciers van software op het gebied van computer-aided design (CAD) en logistieke systemen werken samen met TNO aan de ontwikkeling van standaarden voor informatie-overdracht tussen ontwerp- en productieafdelingen van bedrijven. Dit gebeurt in het DDesign And Logistics-project "DEAL", dat zich in eerste instantie richt op vaste afspraken voor de elektronische uitwisseling van artikel- en stuklijstgegevens. "DEAL" wordt uitgevoerd in het kader van de regeling Telematica Gids-projecten van Economische Zaken. Informatie-uitwisseling tussen ontwerp- en productiesystemen verloopt in veel bedrijven stroef door een ge-

brek aan afstemming tussen de betrokken groepen. Een deel van de door (eiland-)automatisering verworven voordelen gaat daardoor weer verloren in de vorm van tijdverlies en fouten bij het overnemen of vertalen van de gegevens voor het productiesysteem. De in veel gevallen toegepaste "maatwerk koppelingen" zijn specifieke, relatief kostbare oplossingen van de systeemleveranciers en dragen niet bij aan standaardisatie. Zowel bij leveranciers als afnemers bestaat dan ook grote behoefte aan een neutraal afsprakenstelsel voor het overdragen van ontwerpgegevens. In het DEAL-project wordt nu een begin gemaakt met de ontwikkeling daarvan, waarbij rekening wordt gehouden met de internationale ontwikkelingen op het gebied van Product Data Interchange (PDI, ISO/STEP).

DEAL moet leiden tot "communicatiemodules" die deel gaan uitmaken van het assortiment van de pakketleveranciers. De modules moeten gemakkelijk en tegen geringe kosten in bedrijven kunnen worden ingevoerd. In het project werken samen Baan Info Systems, CYCO Software, EDS Unigraphics, Inter Access Infostore, Intergraph Benelux en Rocomp.

In opdracht van dit collectief van leveranciers voert het Instituut voor Productie en Logistiek TNO (IPL) in Eindhoven de gemeenschappelijke activiteiten uit gericht op het consolideren en uitdragen van het afsprakenstelsel.

Voor nadere informatie:

Ir. A.L. Bulder (IPL - TNO)
Telefoon: 040 - 474 736
Fax: 040 - 436 535.