

Onrondheid

Citation for published version (APA):

Zuurveen, F. (1963). *Onrondheid*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Laboratorium voor mechanische technologie en werkplaatstechniek : WT rapporten; Vol. WT0070). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1963

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.



technische hogeschool eindhoven

laboratorium voor mechanische technologie en werkplaatstechniek

rapport van de sectie: Meettechniek

titel:

On rondheid (n.a.v. een colloquium dd. 8 mei 1963)

auteur(s):

F. Zuurveen

sectieleider: Drs. J. Koning

hoogleraar: Prof. Dr. P.C. Veenstra

samenvatting

In het eerste gedeelte wordt een wiskundige benadering van het on rondheidsprobleem gegeven, d.m.v. Fourier-analyse. In het tweede gedeelte wordt het meten van on rondheid behandeld, waarbij de methode met statief en meetklok en de speciale rondheidsmeetapparatuur aan de orde komt. Tenslotte wordt gesproken over de analoge rekeneenheid, welke recent is toegevoegd aan het rondheidsmeetapparaat "Talyrond".

prognose

blz. 1 van 8 blz.

rapport nr. 0070

codering:

M 8 h

trefwoord:

on rondheid

datum:

31 mei 1963

aantal blz. 8

geschikt voor
publicatie in:

On rondheid (n.a.v. Colloquium dd. 8 mei 1963.)

Wanneer wij een bepaald product laten vervaardigen, dan zal het resultaat in het algemeen afwijken van het ideaal, dat wij ons gesteld hebben. De afwijkingen kunnen gesplitst worden in drie groepen, namelijk maatafwijkingen, vormfouten en ruwheid. Het volgende handelt over vormfouten en wel speciaal over de afwijkingen van de ideale cirkelvorm, zoals die bijvoorbeeld optreden bij een doorsnede van een cylinder, genomen loodrecht op de as. In fig. 1 zien we een dergelijke doorsnede, overdreven weergegeven. We nemen voorlopig aan, dat we de vorm van deze doorsnede op één of andere manier hebben bepaald. De on rondheid kunnen we nu definiëren als het

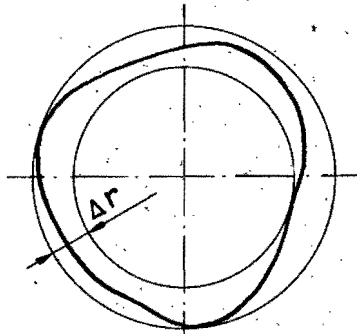


fig. 1

straalverschil van de in- en omgeschreven cirkel met gemeenschappelijk middelpunt, waarbij de plaats van het middelpunt zo gekozen is, dat dit straalverschil minimaal is.

In fig. 1 is de aldus gedefinieerde on rondheid aangegeven als Δr . Deze definitie komt overeen met die volgens de Amerikaanse en Engelse normen. Volgens DIN 1786 wordt als on rondheid gedefinieerd het minimale diameterverschil, dus $2\Delta r$. In Nederland bestaat op dit gebied nog geen genormeerde afspraak.

Om tot een algemene behandeling van de soorten van on rondheid en het meten van on rondheid te komen, zal eerst worden ingegaan op de mathematische analyse van het probleem. Om het gemeten profiel op een eenduidige manier te kunnen vastleggen, brengen we een poolcoördinatensysteem aan met willekeurig middelpunt en beschrijven het profiel met de functie $r = r(\varphi)$, zie fig. 2.

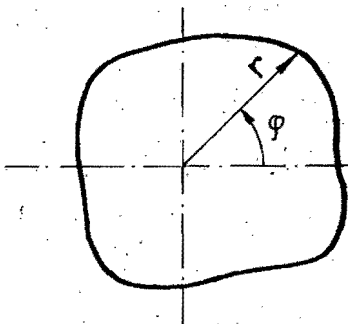


fig. 2

De functie $r(\varphi)$ heeft de eigenschap, periodiek te zijn met periode 2π , zodat we de functie kunnen ontwikkelen in een Fourier-reeks, die de volgende gedaante heeft:

$$r(\varphi) = R_0 + A_1 \cos(\varphi + \alpha_1) + A_2 \cos(2\varphi + \alpha_2) + \dots$$

$$\text{of } r(\varphi) = R_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k\varphi + \alpha_k) \quad (A)$$

We stellen nu, dat de vormafwijkingen waarover we spreken gering zijn en dat bovendien deze afwijkingen niet te plotseling verlopen, wat in de meettechnische praktijk over het algemeen wel het geval is, zodat we kunnen stellen:

$$\frac{A_k}{R_0} \ll 1 \text{ voor } k = 1, 2, 3, \dots \infty \quad \dots (B)$$

en $\frac{dr}{d\varphi} \ll 1 \quad \dots (C)$

Men kan nu de vraag stellen welke termen van de Fourier-ontwikkeling we moeten beschouwen als vormfout en welke als ruwheid. Meestal rekent men ten minste de eerste 15 termen tot de vormafwijkingen en de rest tot de ruwheid.

Wij zullen nu de diverse harmonische componenten der Fourier-ontwikkeling afzonderlijk beschouwen, om zo de soorten onrondheid te onderkennen en iets over hun eigenschappen te weten te komen.

1. $r(\varphi) = R_0$ stelt een cirkel voor met straal R_0 en als middelpunt de oorsprong van het coördinatenstelsel. R_0 is het gemiddelde van r , genomen over 2π radialen en volgt dus uit

$$R_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} r(\varphi) d\varphi \quad \dots (D)$$

2. $r(\varphi) = R_0 + A_1 \cos(\varphi + \alpha_1)$ stelt in goede benadering een cirkel voor met straal R_0 en excentriciteit A_1 , als weergegeven in fig. 3.

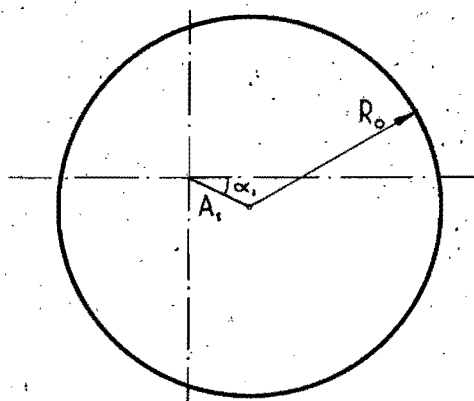


fig. 3

3. $r(\varphi) = R_0 + A_2 \cos(2\varphi + \alpha_2)$ stelt in goede benadering een ellips voor met als lange en korte as respectievelijk $2(R_0 + A_2)$ en $2(R_0 - A_2)$, als weergegeven in fig. 4.

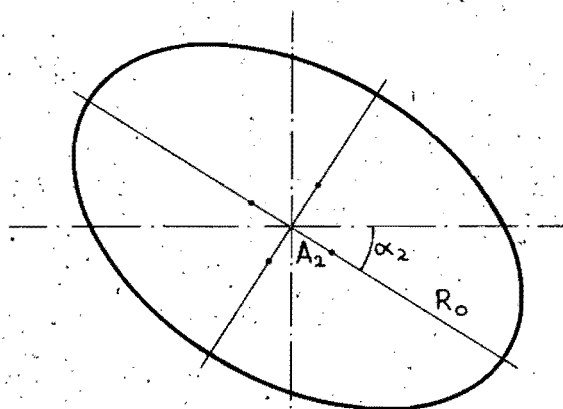


fig. 4

4. $r(\varphi) = R_0 + A_3 \cos(3\varphi + \alpha_3)$ stelt een drielobbige figuur voor, welke geen speciale naam heeft, voorgesteld door fig. 5.

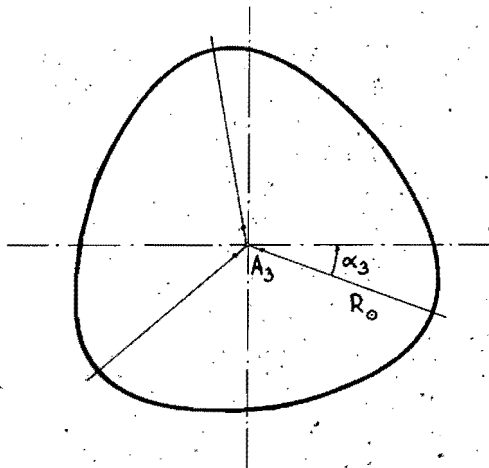


fig. 5

Algemeen stelt $R_0 +$ een oneven harmonische term een figuur van constante diameter voor, een zgn. "Gleichdick". Neemt men namelijk de som van twee stralen, behorende bij 180° verschillende φ 's, dan is deze gelijk aan $2R_0$ en dus onafhankelijk van φ :

$$R_0 + A_{2k+1} \cos\{(2k+1)\varphi + \alpha_{2k+1}\} + R_0 + A_{2k+1} \cos\{(2k+1)(\varphi + 180^\circ) + \alpha_{2k+1}\} \\ \cong 2R_0 + A_{2k+1} \cos\{(2k+1)\varphi + \alpha_{2k+1}\} - A_{2k+1} \cos\{(2k+1)\varphi + \alpha_{2k+1}\} = 2R_0$$

Ieder willekeurig profiel, bestaande uit uitsluitend oneven harmonische componenten, levert diensgevolge een "Gleichdick" op. Deze vorm van onrondheid ontstaat in het algemeen bij het centerloos slijpen. De bekendste is wel het drielobbige "Gleichdick". Daarentegen is de diameter niet constant bij een profiel, bestaande uit één of meerdere even harmonische componenten.

Wij zullen ons nu bezig houden met het meten van onrondheid met eenvoudige meetmiddelen. Nemen wij aan, dat wij de onrondheid Δr willen bepalen van een as met een onrondheidsprofiel, bestaande uit één component, dan kunnen wij onze toevlucht nemen tot een statief met meetklok, waarbij we de te meten as leggen in een V-blok waarvan de ingesloten hoek θ bedraagt (zie fig. 6).

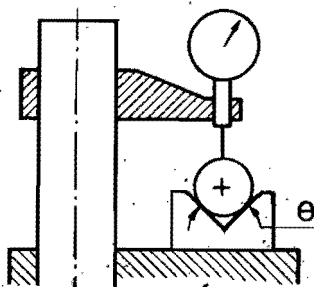


fig. 6

Het blijkt nu, dat wij bij draaien van de as in het V-blok een maximaal uitslagverschil V van de meetklok krijgen, dat een factor C groter is dan de onrondheid Δr , waarbij C een functie is van θ en van de soort van onrondheid, dus van de rangorde k van de betreffende harmonische term, dus: $V = Cx\Delta r$, $C = C(\theta, k)$ (E)

Hierbij kan θ ook de waarde 180° aannemen, het geval dus van de vlakke tafel. In het algemeen is voor oneven harmonischen C maximaal, als θ het supplement is van de hoek tussen twee opvolgende lobben van het onrond, dus als

$$\theta = 180^\circ - \frac{360^\circ}{k} \quad \text{voor } k = 3, 5, 7, \dots \quad (F)$$

Door Lehmann, Pick en Wiemer is de functie $C(\theta, k)$ langs analytische weg berekend, met het volgende resultaat:

$$C = 1 + \frac{\cos \frac{k}{2}(\pi + \theta)}{\cos \frac{1}{2}(\pi - \theta)} \quad (G)$$

Onderstaande tabel geeft voor de meest voorkomende soorten onrondheid de waarden C:

θ	180°	60°	108°
k			
2 (ellips)	2	0	1,38
3 (3-lobbig "Gleichdick")	0	3	1,38

Om dus de elliptische en drielobbige onrondheid van een as even sterk te meten, moet men een V-blok met een hoek van 108° nemen. Het meten van een gat gebeurt meestal met een driepunts binnenmeetapparaat. Wil men nu weer hetzelfde criterium aanleggen, dan moet de hoek tussen de vaste benen $180^\circ - 108^\circ = 72^\circ$ bedragen. Dit is toegepast in het binnenmeetinstrument "Micro-Maag".

Het meten van onrondheid met V-blok, statief en meetklok is dus wel mogelijk, maar heeft bezwaren, omdat niet alle harmonische componenten der onrondheid even sterk worden gemeten. Beter, maar ook kostbaarder, kan men onrondheid meten met speciale rondheidsmeetinstrumenten, waarvan de bekendste gefabriceerd worden door de firma's Rank Taylor Hobson (1), Hommel (2) en O.M.T. (3). Deze instrumenten bestaan in principe uit een zeer nauwkeurig gelagerde spil, waaraan de taster bevestigd is terwijl het werkstuk stilstaat (a) of waarop het werkstuk zich bevindt, terwijl de taster stilstaat (b). Beide uitvoeringen zijn voorgesteld in fig. 7.

De instrumenten (1) en (3) zijn uitgevoerd volgens (a), het instrument (2) volgens (b). Het laatste is bovendien ook geschikt om de rechtheid van mantellijnen van een cylinder te controleren en bezit bovendien een electronische centrering. Het instrument (3) heeft een spil, welke pneumatisch (aerostatisch) is gelagerd. Het instrument (1) is het oudste op dit gebied en het meest bekend. In het volgende zullen wij vooral aandacht schenken aan dit instrument genaamd Talyrond. Het heeft een spil met een maximale rondlooppnauwkeurigheid van $1 \mu \cdot \text{inch} = 25,4 \times 10^{-6} \text{ mm} \approx 1/40 \mu \text{m}$. Er zijn

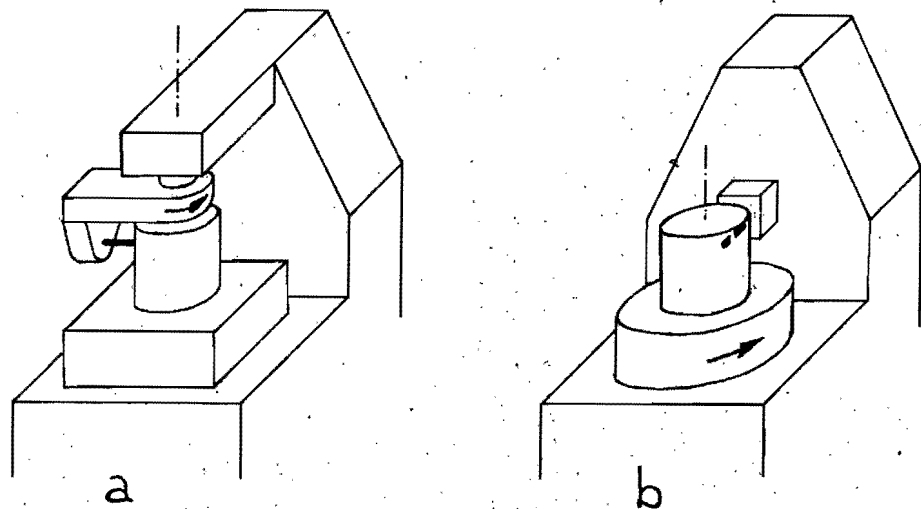


fig. 7

twee uitvoeringen, nl. het model 50 met een toelaatbaar werkstukgewicht van 68 kg. en het model 2 met een toelaatbaar werkstukgewicht van 450 kg.

De Talyrond levert als resultaat van de meting een grafiek, welke in poolcoördinaten de functie $R = A \{R_1 - r(\varphi)\}$ voorstelt. Hierin is A de in trappen regelbare vergroting en R_1 de instelbare afstand van tastpunt en rotatiemiddelpunt in de nulstand. Door het subjectief inpassen van op een transparant gedrukte concentrische cirkels met regelmatig oplopende stralen, kan men uit het grafiekje de onrondheid Δr bepalen, met inachtneming van de vergroting. Het probleem is echter, dat het inpassen van de cirkels een van de persoonlijk afhankelijk resultaat geeft, zodat afwijkingen ten gevolge van persoonlijke interpretatie voorkomen.

Een oplossing van het genoemde probleem geeft de toepassing van de door Rank Taylor Hobson als accessoire bij de Talyrond leverbare analoge rekenmachine. Deze is in staat fase en amplitude te berekenen van de eerste harmonische term van de Fourier-ontwikkeling, welke in goede benadering gelijk is aan de cirkel der kleinste kwadraten van het onrondheidsprofiel. Uitgaande van deze cirkel levert de rekenmachine nu éénduidig de volgende waarden:

- a. De totale onrondheid, d.w.z. het verschil $r_{\max} - r_{\min}$, uitgaande van het middelpunt van bovengenoemde cirkel. Dit is in goede benadering de onrondheid Δr als vroeger gedefinieerd.
- b. De maximale afwijking naar buiten.
- c. De maximale afwijking naar binnen.
- d. De gemiddelde afwijking, corresponderende met de C.L.A.-waarde, zoals die bij de ruwheid wordt berekend.

De aldus gemeten totale onrondheid is éénduidig, daar er slechts één cirkel der kleinste kwadraten bestaat.

Hiernaast is de rekenmachine nog in staat in het diagram te tekenen de best passende cirkel of best passende ellips, volgens de methode der kleinste kwadraten. In het diagram met de best passende cirkel

kan men de waarden a t/m c opmeten en d door planimetreren bepalen. In het diagram met de best passende ellips kan men de ovaliteit van het onrond en de onrondheid, afgezien van de ovaliteit, opmeten. Het principe, waarop het uitrekenen der Fouriercomponenten zou kunnen berusten, kan men zich voorstellen, als men zich de formules van Euler in herinnering brengt, die de amplituden der Fouriercomponenten opleveren. Daartoe schrijven we formule (A) in iets andere vorm:

$$r(\varphi) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos\varphi + b_1 \sin\varphi + a_2 \cos 2\varphi + b_2 \sin 2\varphi + \dots + a_k \cos k\varphi + b_k \sin k\varphi \dots \quad (H)$$

Het verband met (A) blijkt als men bedenkt dat

$$A_k = a_k^2 + b_k^2 \text{ en } \operatorname{tg} \alpha_k = \frac{b_k}{a_k} \text{ en } R_0 = \frac{a_0}{2}$$

De formules van Euler luiden nu:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} r(\varphi) \cos k\varphi \, d\varphi \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} r(\varphi) \sin k\varphi \, d\varphi \quad k = 1, 2, \dots$$

Aan de machine kan men nu cos- en sin-potentiometers bevestigen, welke roteren met de enkele, respectievelijk de dubbele hoeksnelheid van de spil. Deze leveren nu als uitgangsspanning $e_1 = E \cos\varphi$, $e_1' = E \sin\varphi$, $e_2 = E \cos 2\varphi$ en $e_2' = E \sin 2\varphi$. Nemen we nu voor de ingangsspanning E het uitgangssignaal van de taster en integreren we het product over één omwenteling van de spil, dan krijgen we, met bepaalde schaalfactoren, de amplitudes der eerste en tweede harmonischen van het onrondheidsprofiel. De gemiddelde

grootte van het profiel ($\frac{a_0}{2}$) wordt verkregen door integratie van het tastersignaal over één periode. Deze uitkomsten leveren nu de ligging en grootte van de cirkel en ellips der kleinste kwadraten.

Door van het tastersignaal het bedrag $\frac{a_0}{2} + a_1 \cos\varphi + b_1 \sin\varphi$ af te trekken, kan men het onrondheidsprofiel, gereduceerd op de best passende cirkel verkrijgen, waaruit de waarden (a), (b) en (c) volgen. De waarde d volgt uit de integratie van dit signaal.

Uit het voorgaande moge blijken, dat de toevoeging van de beschreven analoge rekenmachine aan het instrument Talyrond heeft bijgedragen tot een meer eenduidige vastlegging van het begrip onrondheid.

Literatuur:

- R.E. Reason: "Report on reference lines for roughness and roundness", Rank Taylor Hobson, Leicester, England.
- Dr. Ir. A.H. Boerdijk: "Controle van de rondheid van assen", De Ingenieur 64e jaargang, nr. 6.
- Ing. A. Wiemer, Dr. R. Pick, Dr. L. Lehmann: "Das Messen von Unrunden", Feingerätetechnik 4e jaargang, pag. 390.
- R. Noch: "Rundlaufabweichung und Unrundheit", Wissenschaftliche Zeitschrift der T.H.-Dresden, 9e jaargang, pag. 975.
- "Rundheitsprüfung an zylindrischen Werkstücken", Werkstattstechnik 50e jaargang, pag. 625.
- L. Lindberg: "Out-of-roundness of machined parts", Machinery 1961 november, pag. 102.