

Oppervlakteruwheid: nader bekeken

M.A.J. van der Steen

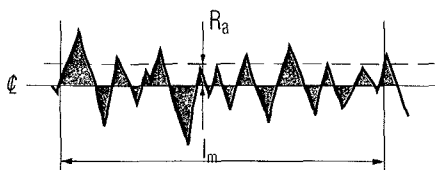
Materiaalaandeelmeting als moderne analysemethode

Mede door de toepassing van nieuwe materiaalsoorten en nieuwe bewerkingsmethoden is de filosofie: "hoe moet de structuur van een oppervlak er uitzien" de laatste jaren sterk gewijzigd.

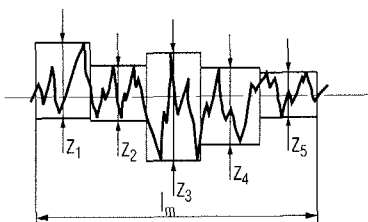
Moderne verbrandingsmotoren bijvoorbeeld, moeten reeds vanaf de fabriek een zodanig cilinderoppervlak hebben, dat het zogenaamde inlopen niet meer of slechts beperkt nodig is. Bij de bepaling van ideale ruwheidsprofielen heeft men te maken met schijnbaar tegengestelde eisen.

Enerzijds moet een oppervlak vaak voldoende ruw zijn om een stabiele oliefilm op te bouwen, anderzijds moet het contactvlak tussen de afzonderlijke delen van de constructie voldoende glad zijn om de glij-eigenschappen van de wrijvingspartners niet al te zeer te beïnvloeden.

Hoe worden dergelijke oppervlakken gekarakteriseerd en wat betekenen daarbij termen als materiaal-aandeel en oliehoudend vermogen? In dit artikel wordt een antwoord op deze vragen gegeven.



Figuur 1. Berekening van R_a .



Figuur 2. $R_z = 1/5 (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$.



Figuur 3. Voorbeeld van een oppervlak, waarop "kunstgrepen" zijn toegepast.

Analyse van het ruwheidsprofiel

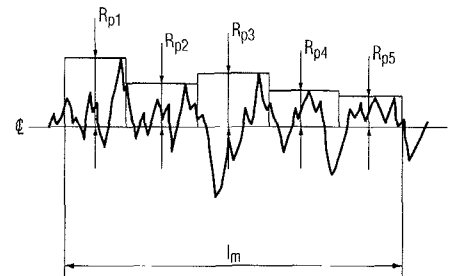
Bij de analyse van bijvoorbeeld een gehoond oppervlak geven de gebruikelijke ruwheidsparameters zoals (R_a), (R_z), (R_{max}) onvoldoende informatie over het karakter van het oppervlak, met andere woorden over het te verwachten gedragspatroon. Dit komt vooral omdat bij deze ruwheidsparameters het oppervlak alleen in verticale richting wordt beschouwd, zie de figuren 1 en 2.

Bij het bewerken van oppervlakken worden steeds meer "kunstgrepen" toegepast; zie figuur 3. Er worden als het ware steeds meer asymmetrische oppervlakken gemaakt, waardoor er behoefte is aan ruwheidsparameters die ook inzicht verschaffen in de verdeling van het ruwheidsprofiel in horizontale richting.

Een eerste stap om de mate van asymmetrie van oppervlakken te bepalen is gezet door de invoering van de (R_{pm})-waarde.

Bij (R_a), (R_z), etc. worden per definitie dezelfde ruwheidswaarden verkregen als die, wanneer dit oppervlak 180 graden gespiegeld zou worden. Het gedrag van deze gespiegelde oppervlakken zal echter totaal anders zijn. Bij de (R_{pm})-meting wordt –in analogie met de (R_z)-bepaling– het oppervlak in vijf gelijke delen verdeeld. Van elk part wordt nu de afstand *top-middellijn* bepaald. De vijf aldus verkregen waarden worden bij elkaar geteld en gedeeld door vijf; de uitkomst is de (R_{pm})-waarde; zie figuur 4.

Bij volkomen symmetrische opper-



Figuur 4. $R_{pm} = 1/5 (R_{p1} + R_{p2} + R_{p3} + R_{p4} + R_{p5})$

vlakken krijgt men aldus (R_{pm})-waarden die exact de helft zijn van de (R_z)-waarde.

Asymmetrische oppervlakken geven andere verhoudingen weer, zoals bij het gelepte oppervlak uit figuur 5, waarbij de verhouding (R_{pm}):(R_z) bijvoorbeeld 1:4 bedraagt.

Deze ruwheidsparameter kan – bij voorkeur gekoppeld aan (R_z) – als bewakingsmechanisme van productieprocessen een interessante uitbreidingsmogelijkheid zijn. Bij een meer analytische beschrijving van een oppervlak, moet in de regel verband worden gelegd tussen het oppervlakprofiel en het dragend oppervlak. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde Abbottse-materiaalaandelecurve. Deze curve vindt men in de literatuur ook wel terug als Abbott-Firestone-curve, draagaandelekromme en materiaal-aandelekromme.

De benaming die uiteindelijk in de normen opgenomen zal worden, is materiaal-aandelekromme. Dit geeft ons inziens ook de juiste strekking weer.

Figuur 5. Een gelept oppervlak geeft een verhouding $R_{pm}:R_z = 1:4$.



Uitgangspunten

Het materiaalaandeel wordt aangeduid met (t_p) in % en is de verhouding tussen de som van de dragende delen (l_n) en de meetlengte (l_m). Dit bij een bepaalde doorsnijdingsdiepte van het profiel (c); zie figuur 6.

In formule vorm:

$$t_p = \frac{l_1 + l_2 + l_3 \dots l_n \times 100\%}{l_m}$$

In de theorie wordt onderscheid gemaakt tussen (t_p) van het gefilterde ruwheidsprofiel (R) en (t_p) van het ongefildere profiel (p). Wij bepalen ons verder tot het materiaalaandeel van het ruwheidsprofiel (R), omdat hierbij de vormfout, die een andere ontstaansgrond heeft, niet als min of meer storende factor optreedt. Als referentielijn wordt hierbij een lijn genomen, evenwijdig aan de middenlijn, die over de hoogte profieltop(pen) loopt. Hierbij is dus sprake van 0% materiaalaandeel; zie figuur 7.

Wanneer van een bepaald oppervlak nu een groot aantal (t_p)-waarden bij verschillende doorsnijdingsdiepten wordt gemeten, kunnen deze waarden grafisch worden vastgelegd. De kromme die zo verkregen wordt geeft een zeer duidelijk beeld van de opbouw van het

oppervlakteprofiel, omdat niet alleen rekening wordt gehouden met de profieldiepte, maar ook met de profielvorm; zie figuur 8.

Een S-vormige kromme duidt op een symmetrisch oppervlak; zie figuur 9a. Een steil afvallende curve duidt op een oppervlak met relatief hoge en scherpe uitschieters naar boven en voorspelt daardoor slechtere slijtvastheid; zie figuur 9b.

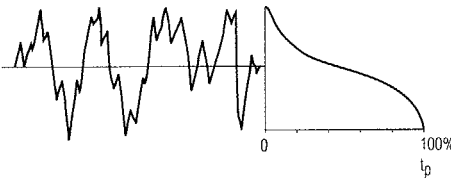
Is de curve vlak afvallend, dan duidt dit op een asymmetrisch profiel met relatief brede toppen en diepe, vaak scherpe dalen, een oppervlak met gunstige slijtvastheid en een goed vermogen om bijvoorbeeld olie vast te houden; zie figuur 9c.

Interpretatie

Naarmate men meer en meer met het begrip materiaalaandeel en de bijbehorende kromme geconfronteerd werd, ontstonden ook problemen met de interpretatie hiervan.

Bekend is, dat de interpretatie van grafische weergaven over het algemeen moeilijk is. De keuze van de referentielijn op 0% (figuur 7) is bijvoorbeeld door velen vervangen door de 2% of 5% referentielijn.

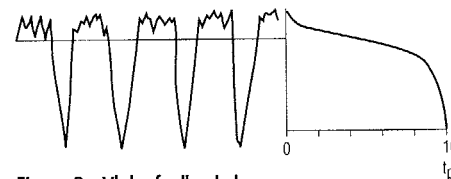
Hierdoor is men verlost van de hinderlijke toevallige uitschieters naar boven, die vrijwel geen praktisch nut hebben, doch het resultaat enorm beïnvloeden.



Figuur 9a. S-vormige kromme (symmetrisch oppervlak).



Figuur 9b. Steil afvallende kromme.



Figuur 9c. Vlak afvallende kromme.

Normalisatie materiaalaandeelkromme

Vooral veel automobiefirma's hebben in het verleden eisen huisnormen losgelaten op de materiaalaandeelkromme. Op de lange duur bleek dit niet te werken.

In samenwerking met het Instituut voor Meettechniek in de Machinebouw van de Universiteit van Hannover is de DIN-norm 4776 ontstaan, die een en ander over het betreffende materiaalaandeel regelt.

Hoe moet deze norm gelezen worden?

Bij een nadere beschouwing van de materiaalaandeelkromme kunnen drie hoofdgebieden onderscheiden worden; zie figuur 10:

A: Uitschietende toppen.

B: Het stabiele middengebied.

C: Uitschietende ruwheidsdalen.

In de nieuwe norm zijn deze gebieden nu vastgelegd door de volgende parameters:

Ruwheidskernprofiel:

is het ruwheidsprofiel met weglating van de meest uitschietende toppen en dalen.

Kernruwheidsdiepte R_k :

is de diepte van het ruwheidskernprofiel.

Kernprofiel R_{pk} :

is de gereduceerde toppenhoogte.

Kernprofiel R_{vk} :

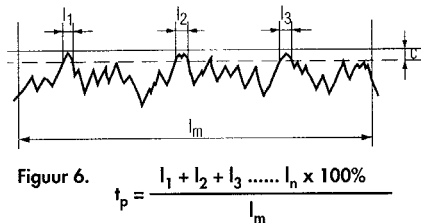
is de gereduceerde daldiepte.

Materiaalaandeel $Mr1$:

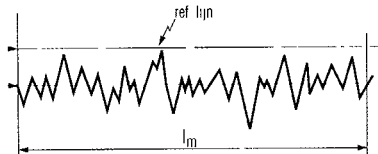
is het kleinste materiaalaandeel van het ruwheidskernprofiel.

Materiaalaandeel $Mr2$:

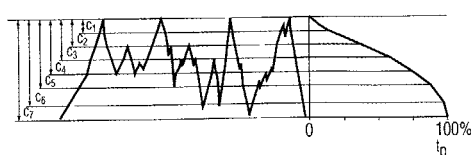
is het grootste materiaalaandeel van het ruwheidskernprofiel



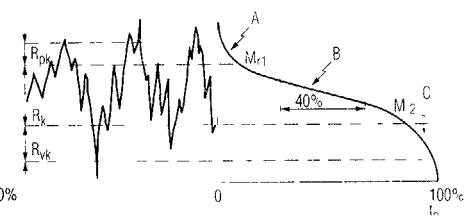
Figuur 6. $t_p = \frac{l_1 + l_2 + l_3 \dots l_n \times 100\%}{l_m}$



Figuur 7. Referentielijn bij $t_p = \%$.



Figuur 8. Constructie van de materiaalaandeelkromme.



Figuur 10. Kengetallen van de materiaalaandeelkromme.

Hoe worden deze grootheden nu bepaald? Zie figuur 11.

Bij het vaststellen van de diepte (R_k) wordt een venster gebruikt, dat zodanig over de curve wordt verschoven, dat de best passende rechte (volgens kleinste-kwadraten-principe) binnen dit venster de kleinste hellingshoek bereikt. De breedte van dit venster is 40% materiaalaandeel. Ligt het venster op de juiste plaats, dan wordt door de kromme de best-passende rechte doorgetrokken. Deze lijn wordt verlengd tot de beide Y-assen van het diagram worden doorsneden. Vanaf de aldus verkregen snijpunten wordt een lijn evenwijdig aan de X-as getrokken, totdat deze de oorspronkelijke curve snijdt. De op deze wijze verkregen punten bakenen het gebied (R_k) af.

Op de X-as kan direct het minimum en maximum materiaalaandeel worden afgelezen (M_{r1} , respectievelijk M_{r2}). De afstand (R_k) is representatief voor het "dragende vermogen" van het onderzochte oppervlak. De (R_k)-waarde bepaalt in hoge mate de levensduur van het onderzochte oppervlak.

Er resteren nu nog de gebieden die boven en onder het hiervoor omschreven gebied liggen.

Een zinvolle waardebepaling van (R_{pk}) en (R_{vk}) wordt verkregen door de kromme te normaliseren. Hierdoor worden uitschieters in het ruwheidsprofiel als het ware tot de orde geroepen.

Voor de waardebepaling van (R_{pk}) gaat dit als volgt; zie figuur 12. Het gebied "A" wordt getransformeerd tot een driehoek met als basis de afstand ($0-$

M_{r1}) en als hoogte de waarde (R_{pk}). Deze driehoek heeft een inhoud gelijk aan de hoeveelheid materiaal van de boven de basislijn ($0-M_{r1}$) uitstekende toppen.

Het is duidelijk dat deze toppen ongewenst zijn.

De bepaling van (R_{vk}), de gereduceerde daldiepte, gaat op soortgelijke wijze.

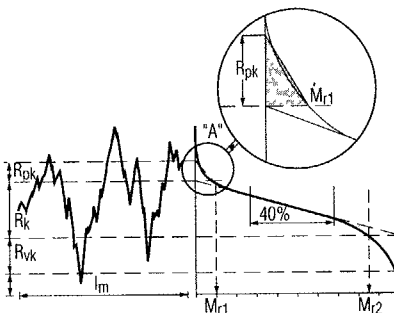
Met de nu verkregen parameters is de materiaalaandeelkromme zinvol geanalyseerd; met de gevonden getallen kan de materiaalaandeelkromme al praktisch worden nagetekend; zie figuur 13.

Het meten

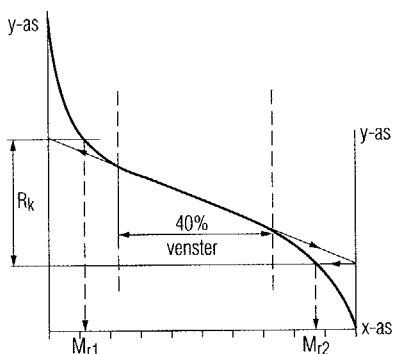
Het meten van dergelijke, toch vrij gecompliceerde oppervlakken geschiedt met volledig digitaal werkende oppervlakteruwheidsmeetapparaten.

Bijvoorbeeld de Perthometer S3P, Perthometer S6P of Perthometer S8P; zie figuur 14.

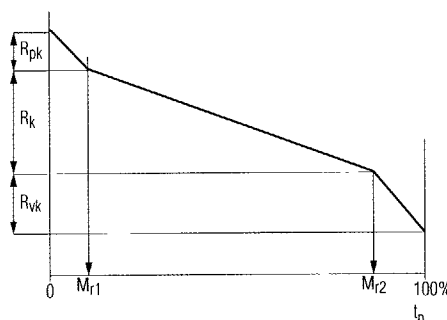
Deze hakken het signaal direct na het aftasten als het ware in mootjes. Via rekenprogramma's kunnen de diverse parameters dan snel en accuraat worden berekend; de microprocessor is ons



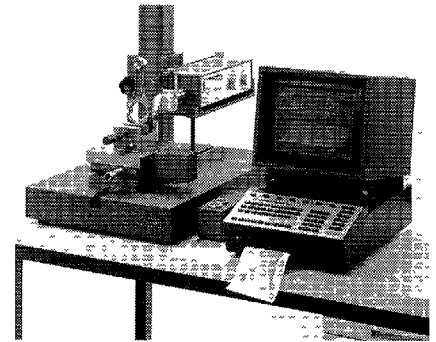
Figuur 12. Waardebepaling van R_{pk} .



Figuur 11. Bepaling van R_k , M_{r1} , M_{r2} .



Figuur 13. Met de gevonden waarden kan de materiaalaandeelkromme praktisch worden nagetekend.



Figuur 14. Perthometer S8P.

hierbij zeer van dienst. De min of meer bekende parameters zijn standaard in het ruwheidsmeetapparaat, aanwezig voor de materiaalaandeelparameters is reeds plaats gereserveerd zodat deze eenvoudig ingebouwd kunnen worden. Welke van de parameters afgelezen en/of moeten worden geprotocolleerd, is te programmeren.

Tenslotte

Door middel van deze nieuwe parameters heeft u een aantal middelen in handen om de grenswaarden van een bepaald oppervlak vast te leggen. Vooral voor oppervlakken waaraan hoge eisen worden gesteld, zijn deze aan te bevelen (bijvoorbeeld gehoonde cilinderbussen, glijlagers, en dergelijke).

De (R_{pk})-waarde verschaft informatie over het volume van de pieken. (R_k) beschrijft het stabiele middengebied, terwijl (R_{vk}) het volume van de dalen beschrijft; dit laatste komt overeen met het zogenaamde oliehoudend vermogen.

Het oliehoudend vermogen V_o , wat uitgedrukt wordt in kubieke mm per vierkante cm oppervlak, kan nu in de volgende formule worden gegoten:

$$V_o = \frac{(100 - M_{r2}) \times R_{vk}}{2 \times 1000} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{cm}^2} \right]$$

Literatuur

M van der Steen, Oppervlakteruwheidsmeting II, Mikroniek 25(1985)6

Auteursnoot

De auteur M A J van der Steen is werkzaam bij VIBA NV, Zoetermeer. Het artikel is eerder verschenen in Vibablad 25, juli 1992.