

**HET VASTLEGGEN VAN EEN RELATIE
TUSSEN DE THEORETISCHE EN OPTREDENDE
RUWHEID BIJ HET FREZEN VAN GEBOGEN
VLAKKEN MET EEN RADIUSFREES.**

door J.W.M. Bastiaanssen

Rapport WPA 0565

Afstudeerhoogleraar: prof. dr. ir. A.C.H. van der Wolf

Begeleider: ir. J.A.W. Hijink

Technische Universiteit Eindhoven
Faculteit der Werktuigbouwkunde
April 1988

Samenvatting.

Dit is het verslag ter afronding van de onderzoekopdracht bij de vakgroep WPA aan de TUE. De opdracht was het vastleggen van een relatie tussen de theoretische en optredende ruwheid bij het frezen van gebogen vlakken met een radiusfrees. Er wordt gekeken naar de invloeden van de parameters die, tijdens het frezen, een rol spelen op de ruwheid. In de praktijk blijkt namelijk dat de optredende ruwheid niet overeenkomt met de theoretische ruwheid.

In hoofdstuk 1 worden de gehanteerde ruwheidsparameters besproken.

Hoe men van het frezen via het meten tot resultaten kan komen, wordt in hoofdstuk 2 besproken.

De resultaten per parameter worden in hoofdstuk 3 bekeken. Hoofdstuk 4 bevat de conclusies t.a.v. de invloeden van de diverse parameters op de ruwheid, tevens worden enige aanbevelingen gedaan.

In hoofdstuk 5 worden enige slotopmerkingen gemaakt.

TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN
Faculteit der Werktuigbouwkunde
Vakgroep WPA

Onderzoek opdracht : J.W.M. Bastiaanssen
Afstudeer hoogleraar : prof.dr.ir. A.C.H. van der Wolf
Begeleider : ir. J.A.W. Hijink

Onderwerp : Het vastleggen van een relatie
tussen de theoretische- en
optredende ruwheid bij het
frezen van gebogen vlakken
met een radiusfrees

Toelichting

Met name bij het maken van matrijzen en mallen komt het nogal eens voor dat een gekromd oppervlak moet worden nagefreesd met een bolkop of radiusfrees. De theoretische ruwheid, als functie van de afstand tussen de freesbanen en de freesradius, blijkt niet altijd overeen te komen met de gemeten ruwheid.

Opdracht

Bepaal voor een aantal materialen en freesdiameters de relatie tussen de theoretische en gemeten ruwheid. De parameters die in aanmerking moeten worden genomen zijn:

- de aanzet
- de snijsnelheid
- de snediediepte
- de afstand tussen de banen
- de aanraakhoek tussen frees en werkstuk

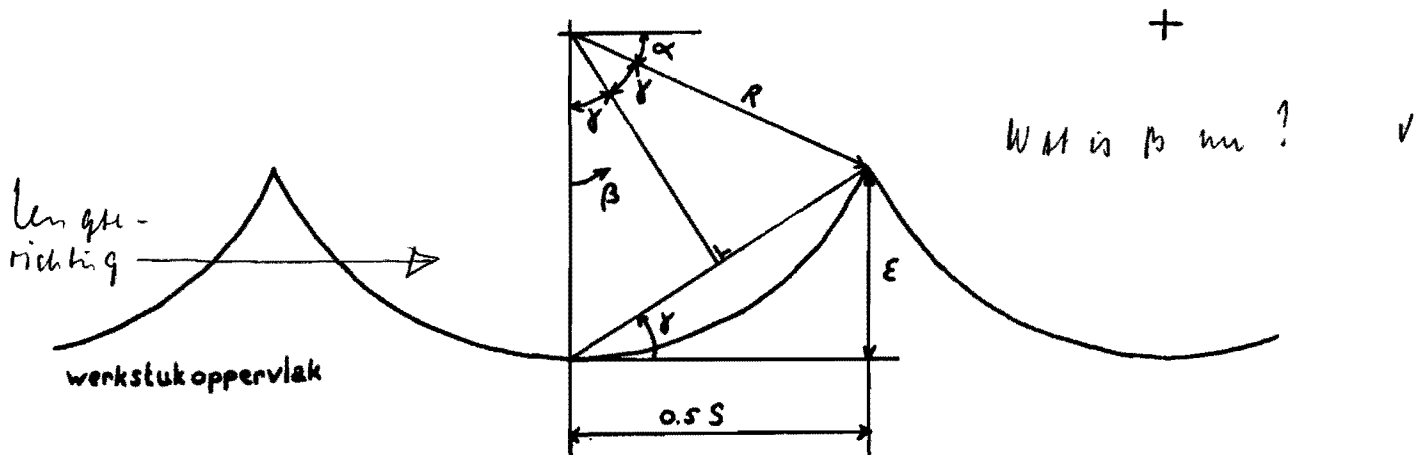
Inhoudsopgave.

	pag.	
1 De ruwheidsparameters.	1	
2 De gevolgde werkwijze.	2	
2.1 Het frezen.	2	
2.2 Het meten.	2	
2.3 De meetgegevensverwerking.	2	
3 De resultaten.	4	
3.1 Inleiding	4	
3.2 Het materiaal.	5	
3.3 De freesradius.	5	
3.4 De aanzet.	6	
3.5 De snijsnelheid.	8	
3.6 De snedediepte.	10	
3.7 De stapgrootte.	11	
3.8 De contacthoek.	16	
4 Conclusies en aanbevelingen.	23	
4.1 Het materiaal.	23	
4.2 De freesradius.	23	
4.3 De aanzet.	24	
4.4 De snijsnelheid.	24	
4.5 De snedediepte.	24	
4.6 De stapgrootte.	24	
4.7 De contacthoek.	24	
5 Slotopmerkingen.	25	
Literatuurlijst.	26	
Symbolenlijst.	27	
Bijlage 1	Powerspectrum & autocorrelatiefunctie	65° ongeslepen
Bijlage 2	" "	70° "
Bijlage 3	" "	80° "
Bijlage 4	" "	15° geslepen
Bijlage 5	" "	20° "
Bijlage 6	" "	30° "
Bijlage 7	" "	40° "
Bijlage 8	" "	50° "
Bijlage 9	" "	55° "
Bijlage 10	" "	60° "
Bijlage 11	" "	65° "
Bijlage 12	" "	70° "
Bijlage 13	" "	80° "

1 De ruwheidsparameters.

-Ra(th)

Uit [1] volgt dat voor een ruwheidsprofiel volgens figuur 1 geldt:



figuur 1. — in der schrift —

$$Ra(th) = \frac{2R(R-m)}{S} * \left[\sin(2\tau) - 2\sin(\beta_0) \right] + \frac{R^2}{S} * \left[2\beta_0 - 2\tau + \sin(2\beta_0) - \frac{1}{2}\sin(4\tau) \right] \quad (1)$$

Maak differentiaal met betrek tot relatieve in breedte parameters?

- met $\beta_0 = \arccos(1-m/R)$
- $\tau = \arctan(2\epsilon/S)$
- $m = (2R^2/S) * [-\tau + \sin(2\tau) - \frac{1}{2}\sin(4\tau)]$
- $\epsilon = R(1 - \sin\alpha)$
- $\alpha = \arccos(\frac{1}{2}S/R)$

m en β_0 volgen uit de ligging van de middellijn door het profiel.

(1) geeft de theoretische relatie weer tussen de Ra-waarde, de straal van de frees (R) en de afstand tussen de freesbanen (stapgrootte S).

-Ra(l)

Bij de metingen wordt de ruwheid gemeten in de lengterichting van het profiel, de gemeten Ra-waarde noemen we de Ra(l)-waarde.

WAT is nu lengte - & WAT is de richting van het profiel?

-Ra(d)

De Ra-waarde gemeten in de dwarsrichting van het profiel noemen we de Ra(d)-waarde.

-K

De verhoudingsfactor K is als volgt gedefiniëerd:

$$K = Ra(l)/Ra(th).$$

2 De gevolgde werkwijze.

2.1 Het frezen.

De proefblokjes werden gefreesd op een MAHO MH500C. De richting van de freesbanen is parallel aan de z-as van de freesbank, dus de lengterichting van de blokjes is parallel aan de x-as. De lengte van een proefvlakje is afhankelijk van de meetlengte, die weer afhankelijk is van de stapgrootte, (zie tabel 1).

2.2 Het meten.

De ruwheid van een gefreesd vlak wordt gemeten m.b.v de laboratorium opstelling voor ruwheidsmeting in de meetkamer. Met deze opstelling worden de meetgegevens digitaal opgeslagen waardoor het mogelijk is om allerlei complexe berekeningen te laten plaatsvinden. De gebruikte meetlengte is afhankelijk van de genomen stapgrootte, en wel als volgt;

stapgrootte [mm]	golflengte [mm]	meetlengte [mm]
van 0.010 tot 0.032	0.08	0.64
van 0.032 tot 0.100	0.25	2.00
van 0.100 tot 0.320	0.80	6.40
van 0.320 tot 1.000	2.50	20.00
van 1.000 tot 3.200	8.00	64.00

tabel 1.

2.3 Meetgegevensverwerking.

Met het verwerkingsprogramma HFU5 [2] kunnen we diverse mogelijkheden kiezen bij de verwerking van de meetgegevens. Door het gemeten ruwheidsprofiel wordt een middellijn gelegd, vanuit waar de ruwheidsparameters berekend worden.

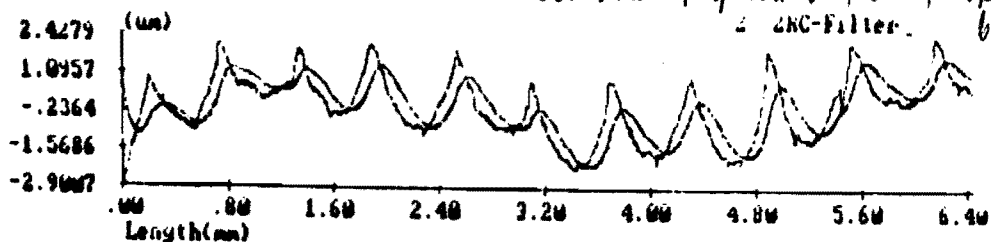
We kunnen het signaal laten filteren, daarbij kan er uit drie mogelijkheden gekozen worden :

- 1) Filter 1 legt in het signaal per cut-off golflengte opnieuw een kleinste kwadratenlijn (zgn. ISO-filter).
- 2) Filter 2 filtert het signaal met een dubbel RC-filter overeenkomstig NEN 3635. Hierdoor ontstaat een

faseverschuiving van de middellijn ten opzichte van het ingangssignaal, deze faseverschuiving is voor iedere golflengte anders.

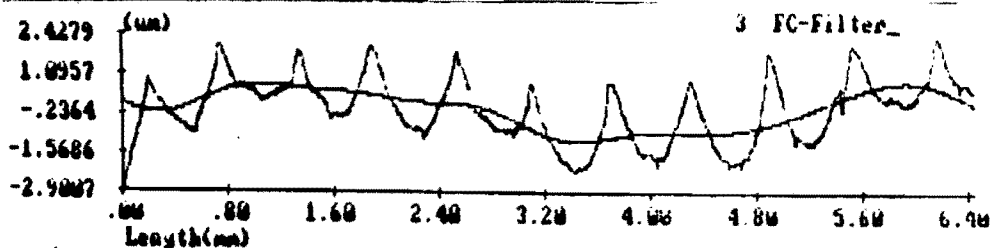
- 3) Filter 3 is een Fase-Corrected filter (FC-filter). Dit is een speciaal filter met een lineaire fase-karakteristiek, waardoor alle signaalcomponenten dezelfde faseverschuiving zullen ondergaan.

Bij de berekening van de ruwheid in de lengterichting wordt geen filter gebruikt, zodat alle invloeden op de ruwheid meegenomen worden in de berekening. In de dwarsrichting daarentegen wordt een FC-filter gebruikt, bij meting in de dwarsrichting is het namelijk moeilijk om met de taster in de freesbaan te blijven, zodat er ongewenste golving ontstaat. Deze golving wordt er met het FC-filter uitgefilterd. Het verschil tussen het 2RC- en FC-filter blijkt uit de figuren 2 en 3.



$$Ra(d) = \emptyset.6255 \text{ um}$$

figuur 2.



$$Ra(d) = \emptyset.7171 \text{ um}$$

figuur 3.

In figuur 2 filtert het 2RC-filter er juist de golving uit die ontstaat door het frezen, en niet de golving die ontstaat doordat de taster niet in de freesbaan blijft. Het FC-filter daarentegen (figuur 3) haalt de ongewenste golving er wel goed uit, en laat het echte profiel ongemoeid. De verkregen Ra-waarde m.b.v. het FC-filter is dus reëler dan de waarde verkregen m.b.v. het 2RC-filter. Omdat al vrij snel bleek dat de ruwheid in de dwarsrichting alleen beïnvloed wordt door de aanzet, is daarna alleen nog maar de Ra(1)-waarde gemeten.

Naast de Ra-waarde worden ook andere ruwheidsparameters berekend, deze laten we verder buiten beschouwing.

Verder is het mogelijk om het autopowerspectrum te laten berekenen, hieruit kunnen we afleiden of er signalen met verschillende frequenties inzitten. De frequentie wordt hier gegeven als cycles/mm, dus (frequentie)⁻¹ geeft de lengte van één periode. Met name is zo te controleren of de voor het frezen ingestelde stapgrootte ook werkelijk in het signaal terug te vinden is.

Ook in de autocorrelatiefunctie kunnen we deze terug vinden.

Bij het berekenen van het autopowerspectrum worden er Fourier-transformaties uitgevoerd, waarbij een fout wordt gemaakt als het signaal niet periodiek is. Het opgenomen signaal wordt daartoe vermenigvuldigd met een Window-sigitaal, dat ervoor zorgt dat het signaal periodiek wordt. Hier is voor een Hanning-window gekozen.

Aan de hand van de verkregen resultaten werd verder geëxperimenteerd.

3 De resultaten.

3.1 Inleiding

De maximale-of minimale waarden van de parameters worden genomen uit de waarden die door Brouwers [1] bij het frezen van de mallen zijn gebruikt. Deze zijn:

-materiaal	: messing
-freesradius	: 15 mm
-aanzet	: Ø.Ø5 mm/tand
-snijsnelheid	: 9Ø m/min
-snedediepte	: Ø.5 mm
-stapgrootte	: afhankelijk van Ra(th)
-contacthoek	: zo groot mogelijk bereik

De standaardwaarden die bij alle proefnemingen genomen zijn, zijn de volgende:

- aanzet : 0.05 mm/tand
- snijsnelheid : 90 m/min
- snedediepte : 0.5 mm
- stapgrootte : zie tabel 2
- contacthoek : zie tabel 2

R	[mm]	15	7.5	5
S	[mm]	0.485	0.306	0.306
Ra(th)	[um]	0.5	0.4	0.6
θ	[°]	20	30	45

Handwritten note: $h_{\text{cut}} / h_{\text{cut}} \cdot 1$

tabel 2.

3.2 Het materiaal.

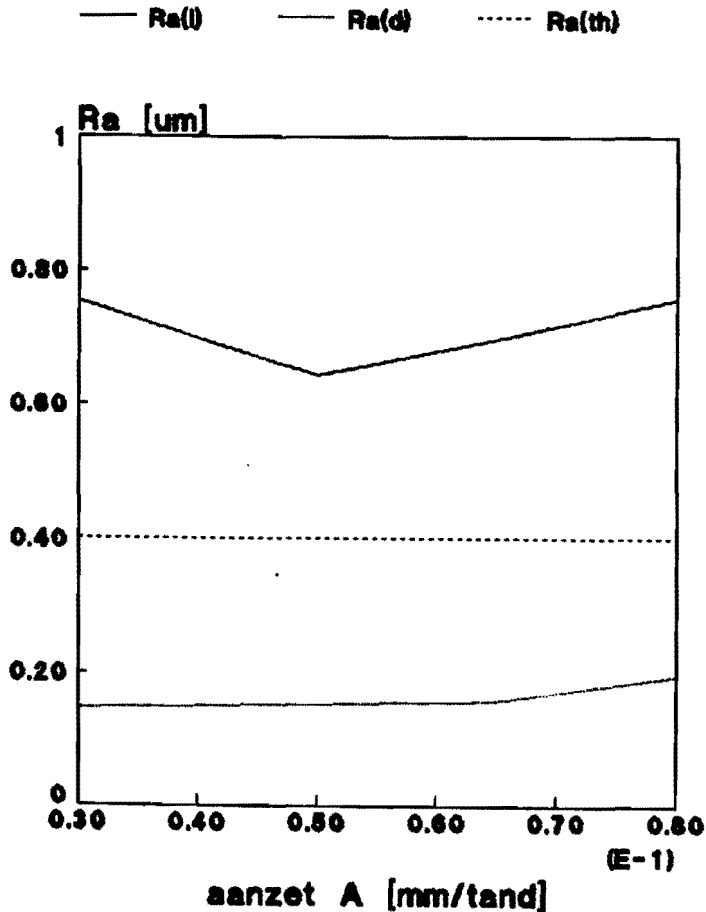
Er werd gestart met een oriënterend onderzoek naar de invloeden van de parameters op aluminium. Na het frezen bleek dat het oppervlak lichte beschadigingen vertoonde, door tijdens het frezen regelmatig het oppervlak schoon te maken bleef het onbeschadigd. Na het aluminium werd overgestapt op messing (CuZn39Pb2.5 140 HV, norm UN-R001).

3.3 De freesradius (R).

Er is geëxperimenteerd met verschillende bolkopfrezen (HSSE) met R=15, R=7.5 en R=5 mm. Na een tijd met deze frezen proefnemingen te hebben gedaan bleek dat de frezen bot waren, en deze zijn toen geslepen. Als laatste is een hardmetalen frees gebruikt (R=12.5 mm).

3.4 De aanzet (A).

Varieren v/d aanzet A
A R15 ϕ 45 D0.5 V100 S0.435

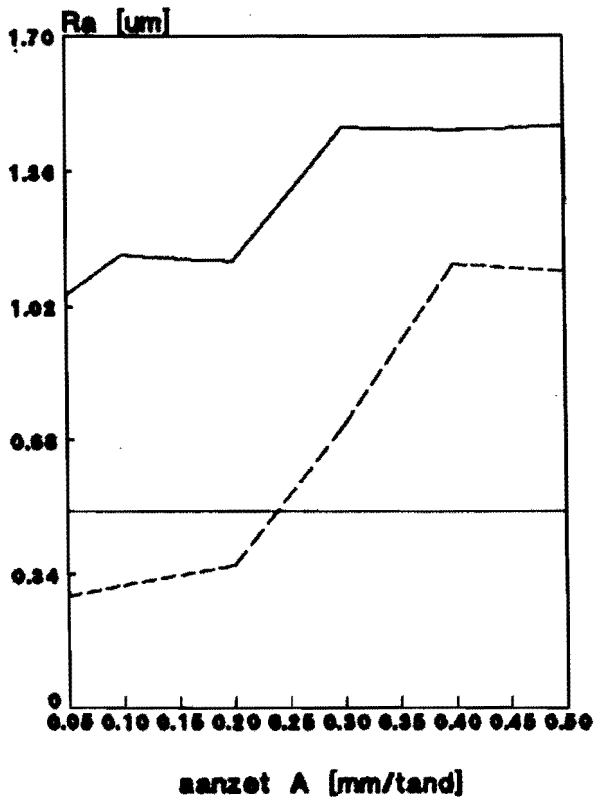


figuur 4.

De eerste proefneming op aluminium laat zien dat Ra(d) wel toeneemt, zij het in geringe mate. Tussen de Ra(l)-waarde en de theoretische Ra-waarde zit een factor $Ra(l)/Ra(th) = 1.6$ verschil (voor $A = \phi.05$ mm/tand). Over de invloed van de aanzet is weinig te zeggen, er zijn geen duidelijke verschillen waar te nemen. Dit komt omdat de variatie in de aanzet te klein is genomen.

Met messing kregen we de volgende resultaten.

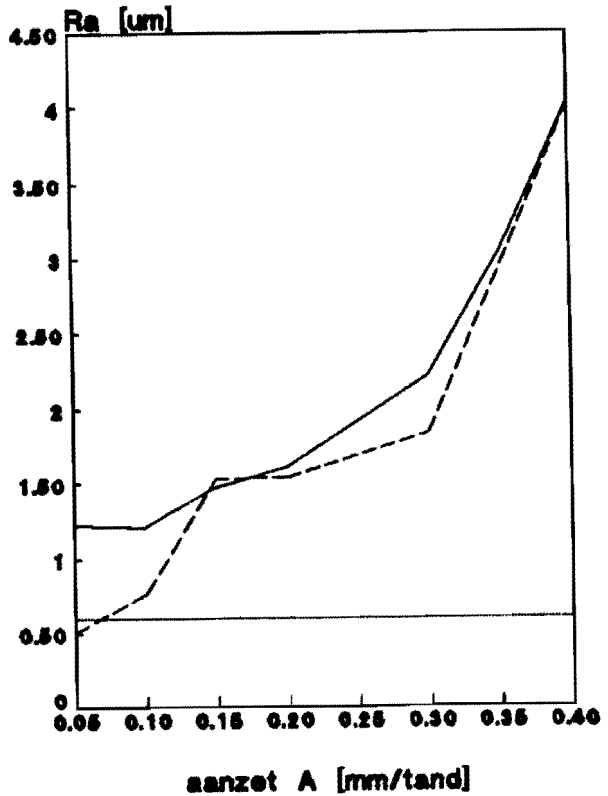
Variëren v/d aanzet A
M 20 R15(b) D0.5 V90 S0.485
 — Ra(l) — Ra(d) — Ra(th)



R15

figuur 5.

Variëren v/d aanzet
M 45 R5 D0.5 V90 S0.308
 — Ra(l) — Ra(d) — Ra(th)



R5

figuur 6.

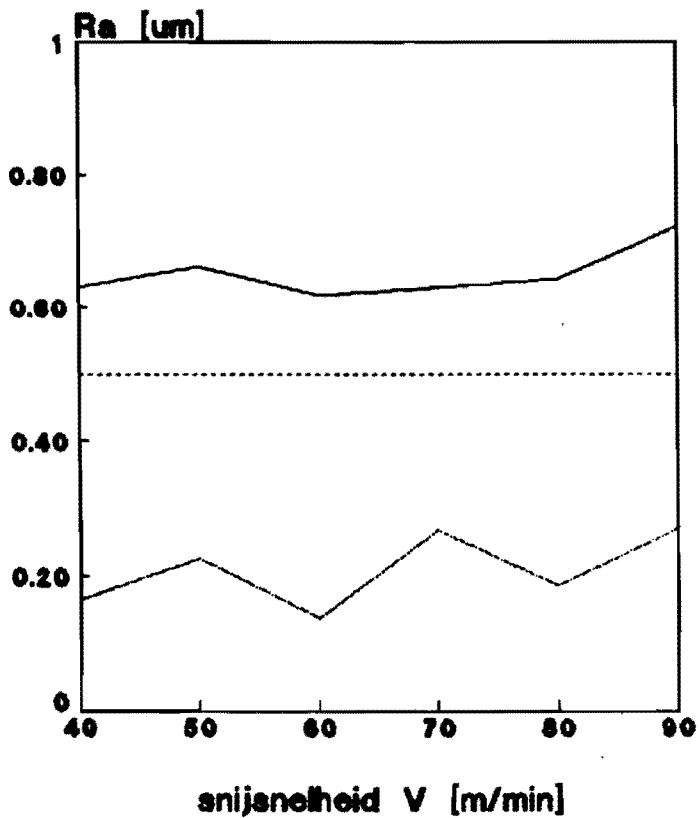
De variatie in de aanzet is nu groter genomen dan bij het aluminium. De invloed op de Ra(l)- en de Ra(d) waarde is nu duidelijk te zien, ze nemen allebei toe bij toenemende aanzet. Bij grotere waarden voor de aanzet (>0.3 mm/tand) is er op het oppervlak een duidelijk trillingspatroon te zien. De verhoudingsfactor K bedraagt nu 2.1 .

Voor A = 0,50 mm/tand

3.5 De snijsnelheid (V).

We zien het volgende bij aluminium,

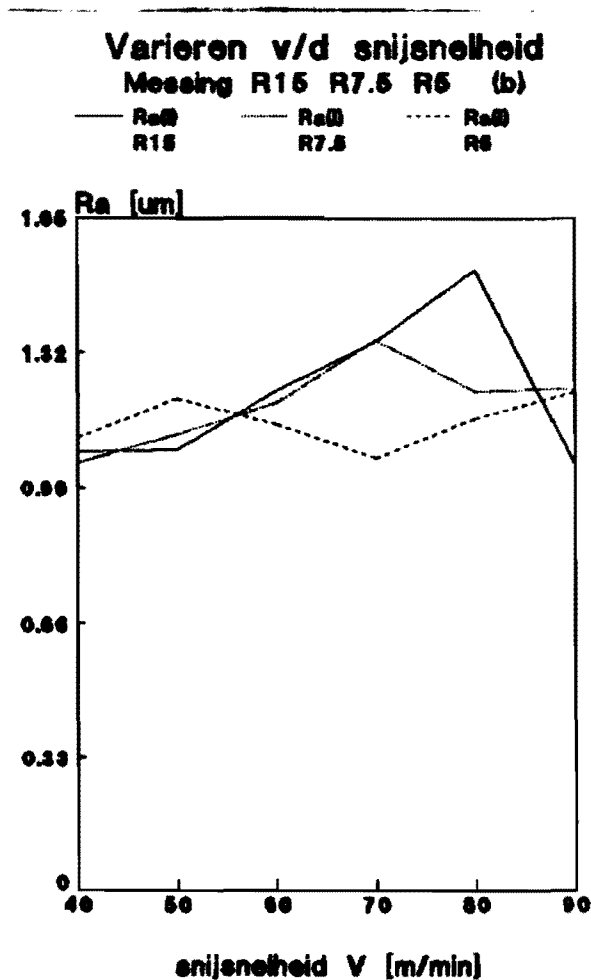
Variëren v/d snijsnelheid
A R15 •20 D0.5 A0.05 S0.485
— Ra(l) — Ra(d) - - - Ra(th)



figuur 7.

De Ra(d)-waarde blijft gemiddeld genomen nagenoeg constant, en de Ra(l)-waarde neemt iets toe met toenemende snijsnelheid.

Bij het messing zien we in figuur 8 de metingen van de proefnemingen met drie verschillende frezen, respectievelijk R=15, R=7.5 en R=5 mm.



figuur 8.

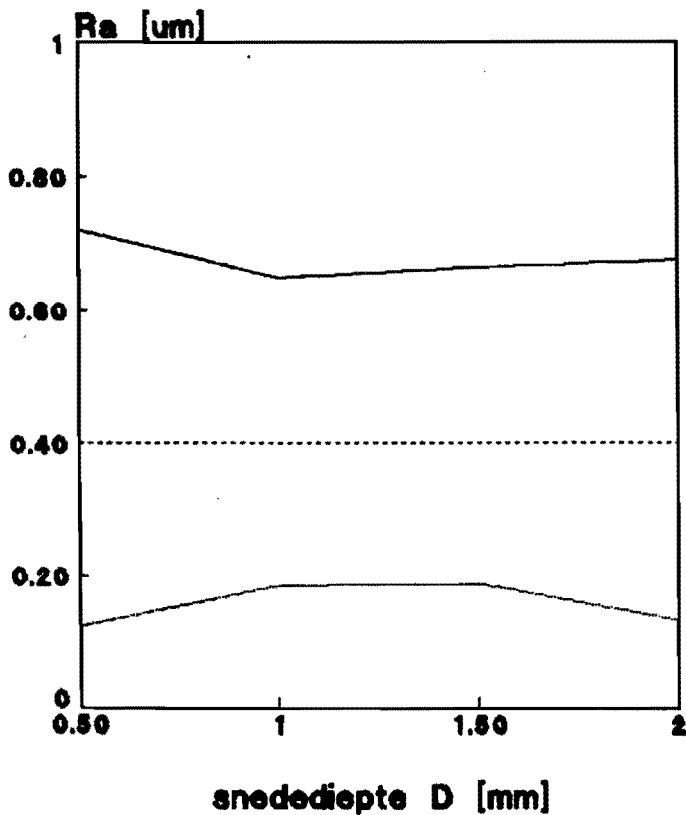
Alhoewel het verloop van Ra(l) voor R=15 nogal grillig is (deze frees bleek nogal bot te zijn), kunnen we stellen dat toename van de snij snelheid een lichte toename van de Ra(l) en Ra(d) veroorzaakt.

3.6 De snedediepte (D).

Variëren v/d snedediepte D

A R15 •45 V100 A0.05 S0.43

— Ra(l) — Ra(d) Ra(th)



figuur 9.

De variaties in de ruwheden zijn bij toenemende snedediepten niet groot, wederom wordt de theoretisch ruwheid niet gehaald, $K = 1.8$.

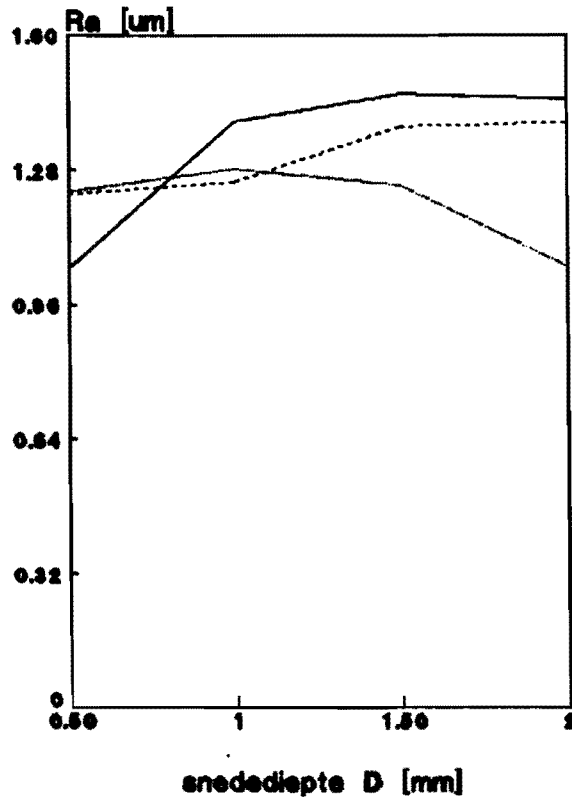
RMV ~~~~~

✓

Variëren snedediepte D

Mes. R15 R7.5 R5 (b)

— Ra(0) R15 — Ra(0) R7.5 - - - Ra(0) R5



figuur 10.

Bij messing (figuur 10) zien we een toename van de ruwheid bij toenemende snedediepte, wat ook aannemelijker is, immers de frees krijgt meer te verspanen. De snedediepte is niet groter genomen dan 2 mm omdat het hier om nafrezen gaat.

3.7 De stapgrootte (S)

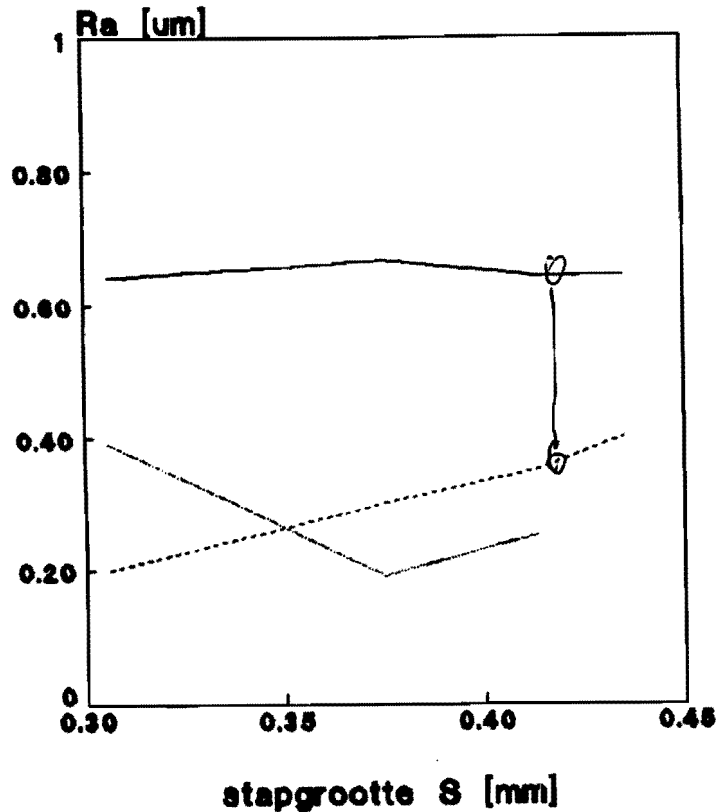
Al naar gelang de gewenste theoretische ruwheid varieert de stapgrootte, in samenhang met de freesradius (formule 1).

Bij aluminium zien we het volgende;

Varieren v/d stapgrootte S

A 0.45 R15 D0.5 V67 A0.05

— Ra(l) — Ra(d) Ra(th)



figuur 11.

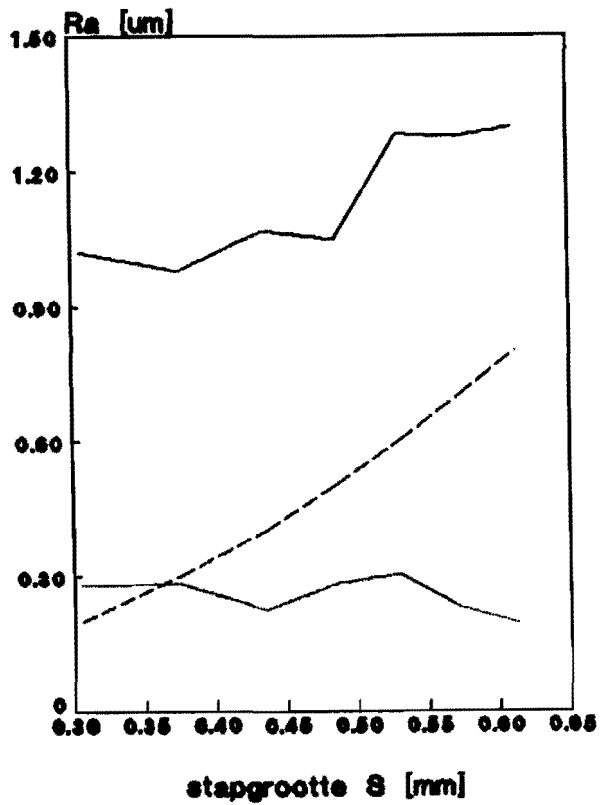
Het lijkt alsof Ra(l) constant blijft, wat volgens de theorie niet het geval is. Ra(d) lijkt af te nemen, wat vrij onlogisch is. We kunnen veronderstellen dat de variatie in de stapgrootte te klein is genomen om duidelijke verschillen te krijgen. Bij het messing hebben we de stapgrootte een grotere variatie gegeven.

In figuur 12 zien we het resultaat.

Variëren v/d stapgrootte S

M +20 R15(b) D0.5 V90 A0.05

— Ra(l) - - - Ra(th) — Ra(d)



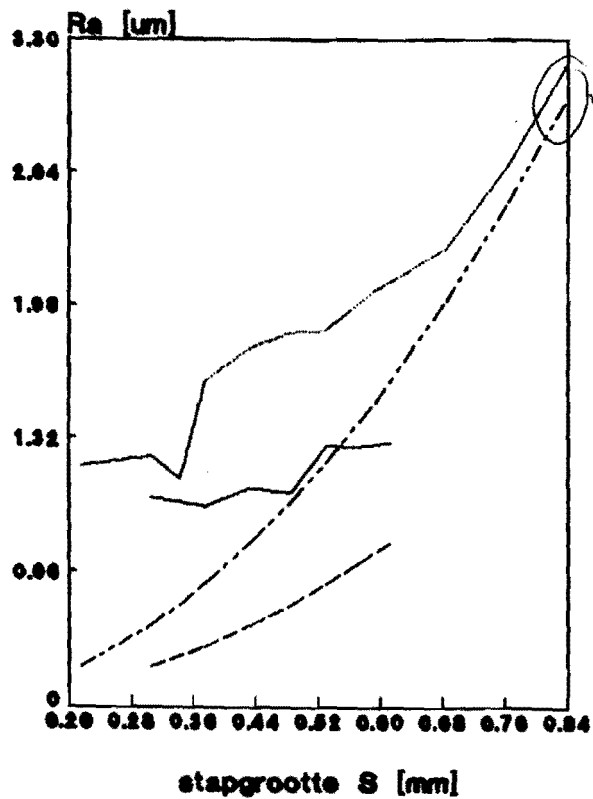
figuur 12.

We zien dat Ra(d) nagenoeg constant blijft en dat Ra(l) langzaam naar Ra(th) toegaat. Om te zien of deze veronderstelling juist hebben we voor een frees met R=7.5 mm een groter gebied van S genomen (figuur 13).

Varieren v/d stapgrootte S

Messing R15 R7.5 (b)

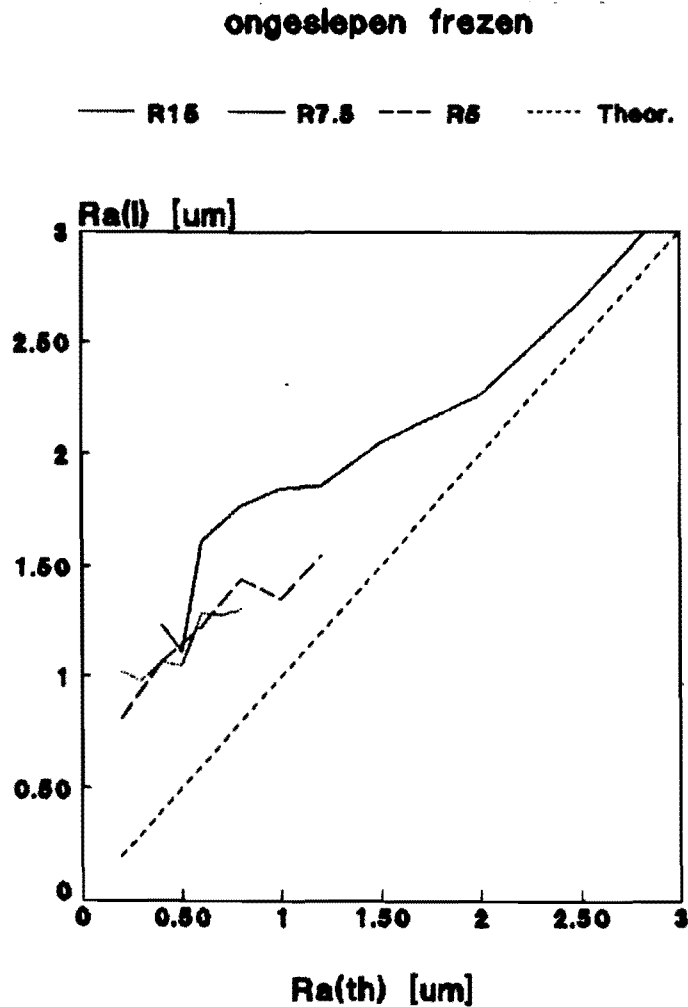
— Ra(t) — Ra(th) — Ra(t) — Ra(th)
 R15 R15 R7.5 R7.5



figuur 13.

In figuur 13 zien we dat inderdaad op een gegeven moment de gemeten ruwheid de theoretische gaat benaderen.

Duidelijk is dit ook te zien in figuur 14, waar $Ra(l)$ tegen $Ra(th)$ is uitgezet, voor frezen met $R=15$, $R=7.5$, en $R=5$ mm.

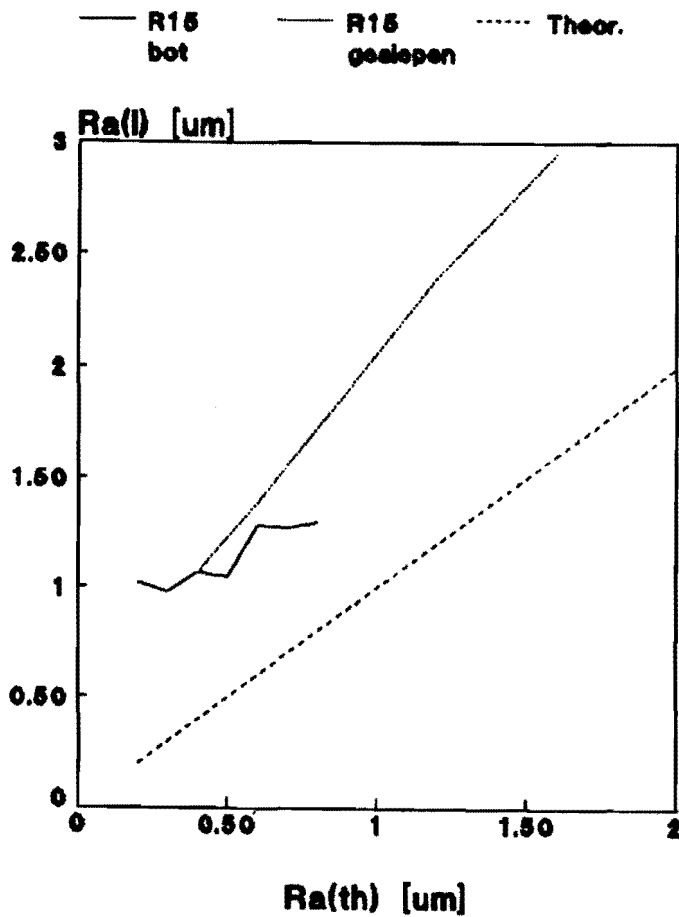


figuur 14.

Voor alle drie de frezen zien we ongeveer hetzelfde verloop van de ruwheid .

Na het slijpen van de frezen werd voor de bolkopfrees met $R=15$ mm de proefneming herhaald, zo kan bekeken worden of het slijpen enig positief effect heeft gehad op de haalbaarheid van de theoretische Ra -waarde.

In figuur 15 is $Ra(l)$ tegen $Ra(th)$ uitgezet voor de ongeslepen en geslepen frees.

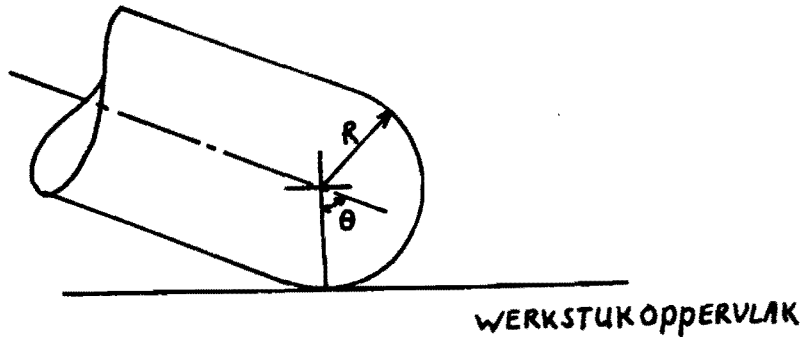


figuur 15.

We zien dat er geen verbetering is t.a.v. de haalbaarheid van $Ra(th)$, eerder een verslechtering (bij toenemende $Ra(th)$).

3.8 De contacthoek (θ).

De contacthoek wordt als volgt gedefiniëerd (zie figuur 16);

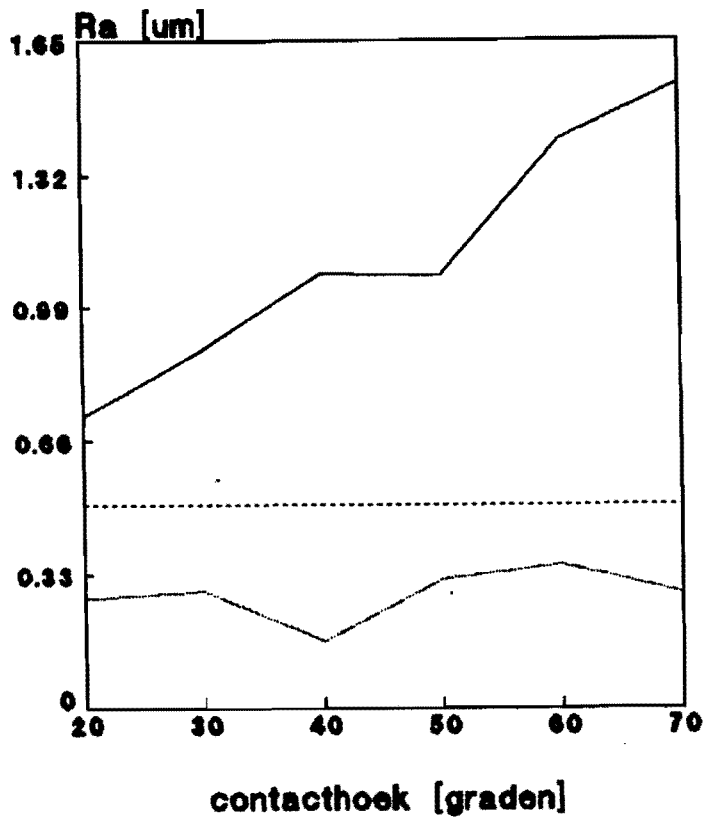


figuur 16.

Bij het instellen van de contacthoek op de freesbank is voor de verschillende frezen niet hetzelfde bereik mogelijk. Als de contacthoek kleiner wordt, wordt ook de snijdende freesradius kleiner. Om nu de snijsnelheid constant te houden, teneinde de verschillende proefnemingen met elkaar te kunnen vergelijken, moet het toerental van de freesbank groter genomen worden. De beperking die hier optreedt is het maximale toerental van de freesbank; zo komt het dat voor de verschillende frezen niet hetzelfde bereik van de contacthoek te verkrijgen is. Het instellen van de contacthoek wordt gerealiseerd door de freeskop te roteren.

Bij messing kregen we het volgende resultaat (figuur 17),

Variëren v/d contacthoek
A R15 D0.5 V90 A0.05 S0.485
 — Ra(l) — Ra(d) Ra(th)



figuur 17.

De invloed op de ruwheid in de dwarsrichtig is nagenoeg nihil, maar het blijkt dat de $Ra(l)$ -waarde toeneemt met toenemende contacthoek.

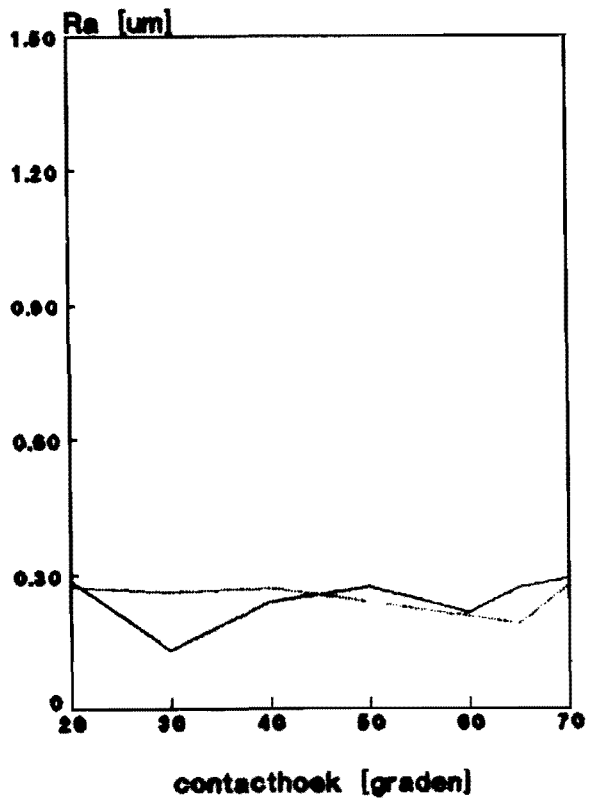
Of dit nu te wijten is aan het proces of aan de eventueel toenemende instabiliteit van de freesbank hebben we bekeken door de contacthoek in te stellen d.m.v. het roteren van de freeskop ($Ra(l)K$) en roteren van het werkstuk ($Ra(l)W$). Zie figuur 18 en 19.

Variëren v/d contacthoek
M R15b D0.5 V90 A0.05 S0.48
 — RaDK — RaDW Ra(th)



figuur 18.

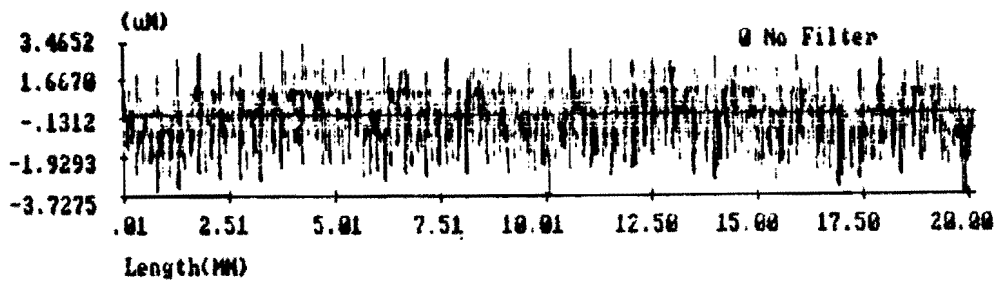
Variëren v/d contacthoek
M R15b D0.5 V90 A0.05 S0.48
 — RaDK — RaDW



figuur 19.

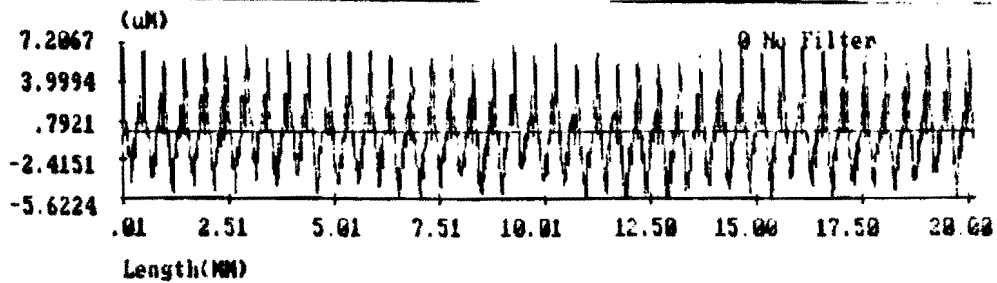
De ruwheid in de dwarsrichting blijft bij toenemende contacthoek gelijk, de ruwheid in de lengterichting neemt toe, zowel bij het roteren van de freeskop als van het werkstuk. Bij 65° en bij 80° neemt de ruwheid af. Kijken we naar de ruwheidsprofielen van 65°, 70° en 80°, (figuren 20, 21 en 22),

contacthoek 65°



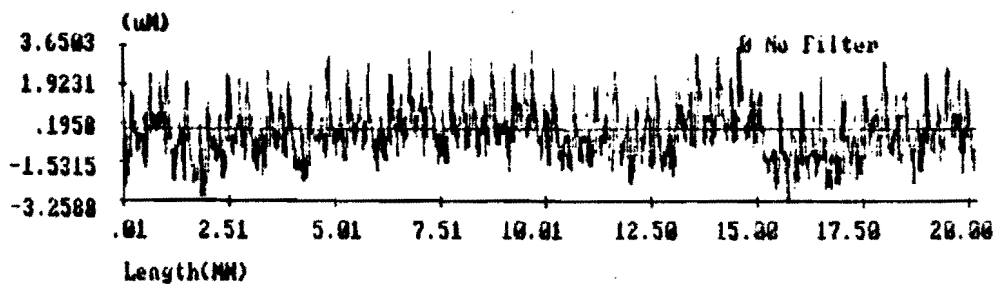
figuur 20.

contacthoek 70°



figuur 21.

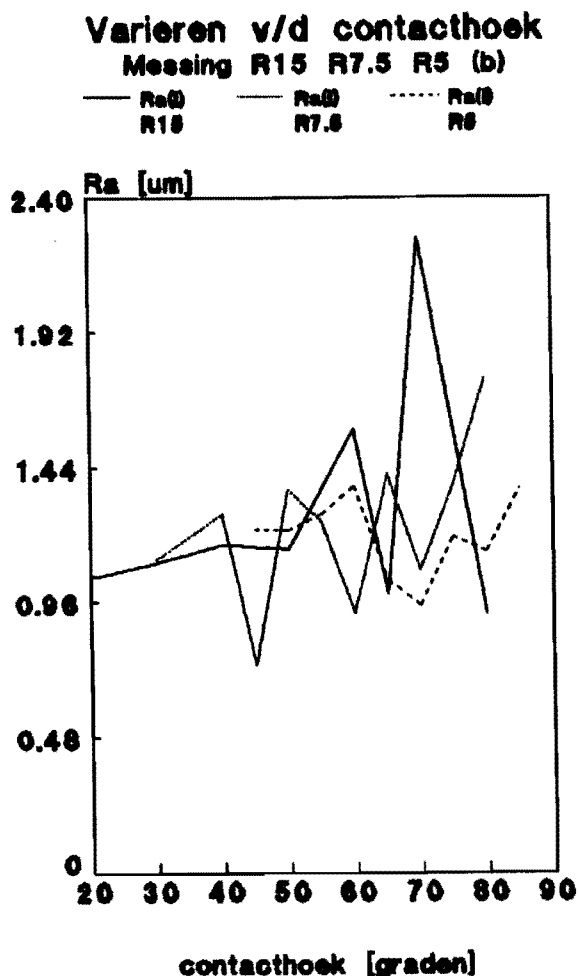
contacthoek 80°



figuur 22.

dan zien we bij 70° zeer grote pieken in het signaal, maar dit profiel lijkt wel het sterkst op het theoretische profiel. Bij beide andere profielen zijn de pieken veel lager. Van de drie signalen zijn ook de autopowerspectra en de autocorrelatiefuncties berekend, zie bijlagen 1, 2 en 3. Uit de autocorrelatiefuncties blijkt dat de werkelijke stapgrootte overeenkomt met de ingestelde. In de autopower-spectra van 65° en 80° zien we dat er naast de frequentie van de stapgrootte ook andere (hogere) frequenties sterk aanwezig zijn, bij 65° 10.3 cycles/mm en bij 80° 4.15 cycles/mm. Waar de oorzaak van deze trillingen gezocht moet worden is onduidelijk.

Om te kijken of de diameter van de frees invloed heeft hebben we de proefnemingen herhaald met frezen met $R=7.5$ en $R=5$ mm. In figuur 23 zijn de metingen uitgezet voor de drie verschillende frezen.



figuur 23.

We kunnen hier niet een zelfde tendens voor de verschillende frezen uithalen, de invloed van de contacthoek blijft onduidelijk.

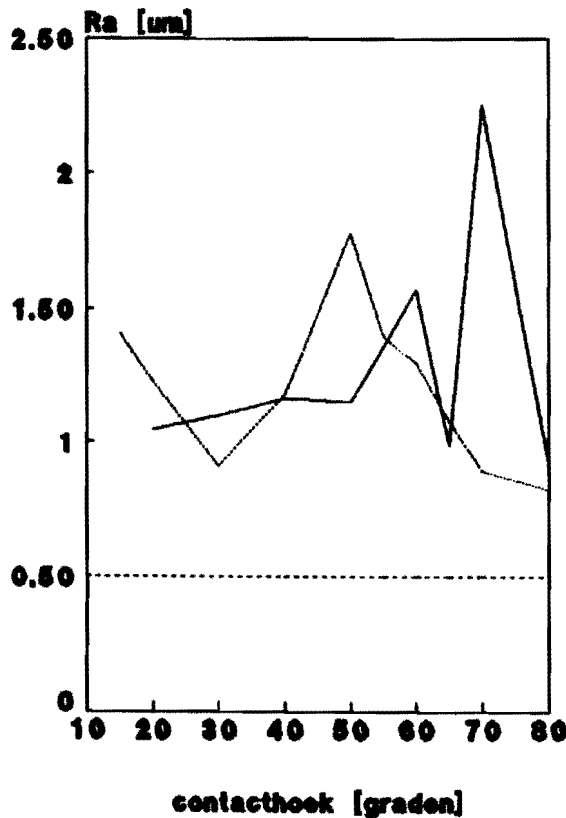
Na het slijpen van de frezen hebben we wederom bij de frees met R=15 mm de contacthoek laten variëren (figuur 24).

Is die contacthoek ook een beetje afhankelijk van de frezen?

**Variëren v/d contacthoek
R15 D0.5 V90 A0.05 S0.485**

— Ra(β) bet — Ra(β) geslepen - - - - Ra(th)

(Atger is van het is dus niet van fijnheid is trillingen door de draaiwerkzaamheid is de machinaal!)



figuur 24.

Het verkregen resultaat met de geslepen frees verschaft ons geen duidelijker beeld van de invloed van de contacthoek op de ruwheid. Wat opvalt in de autopowerspectra en de autocorrelatiefuncties (bijlagen 4 t/m 14), is dat de frequentie van de stapgrootte het sterkst aanwezig is tot en met 55° en daarna veel zwakker terug te vinden is. Vanaf 60° zijn signalen met hogere frequenties duidelijk sterker aanwezig. De ingestelde stapgrootte komt wel overeen met de werkelijke.

4 Conclusies en aanbevelingen.

4.1 Het materiaal.

Uit de metingen blijkt dat voor een gewenste theoretische Ra-waarde van $\emptyset.5$ μm met aluminium een waarde van $\emptyset.72$ μm , en met messing een waarde van $1.\emptyset5$ μm gehaald wordt. De verschillen bedragen een factor $K = 1.4$ voor aluminium en $K = 2.1$ voor messing. Het blijkt dus dat de theoretische ruwheid beter benaderd wordt met het aluminium dan met het messing. Voor de Ra-waarde in de dwarsrichting kunnen we stellen dat het verschil in materiaal geen verschil van belang geeft ($\emptyset.\emptyset2$ μm).

Een mogelijk nadeel van het aluminium is dat het oppervlak gevoelig voor beschadigingen is.

4.2 De freesradius.

Met de verschillende frezen zijn de volgende resultaten verkregen (tabel 3).

R [mm]	Ra(th) [μm]	Ra(l) [μm]	K
HSSE			
15	$\emptyset.5$	1.1522	2.30
7.5	$\emptyset.5$	1.3633	2.73
5	$\emptyset.6$	1.2193	2.03
Hardmetaal			
12.5	$\emptyset.1$	$\emptyset.194\emptyset$	1.88

tabel 3.

De waarden gelden voor een contacthoek van 50° maar zoals we gezien hebben varieert de Ra-waarde nogal sterk met de contacthoek. Het is dus moeilijk te zeggen of de freesradius veel invloed heeft op de ruwheid. Na het slijpen van de frees met $R=15$ mm zien we een toename van de ruwheid met $\emptyset.2$ μm , we verwachtten juist een verlaging van de ruwheid. Het slijpen heeft dus weinig verbetering in de situatie gebracht.

Naderhand is gefreesd met een hardmetalen frees, we zien dat een lagere ruwheidswaarde gehaald wordt in vergelijking tot de andere frezen. Bij de HSSE frezen is voor een Ra(th) van $\emptyset.2$ μm de K-waarde 4 à 5, voor de hardmetalen frees geldt $K = 1.88$ voor Ra(th) = $\emptyset.1$ μm . We mogen hieruit concluderen dat met een hardmetalen frees betere resultaten behaald kunnen worden.

4.3 De aanzet.

Een toename van de aanzet heeft een toename van de ruwheid tot gevolg, zowel in de lengte- als in de dwarsrichting. Het lijkt erop dat bij lage waarden van de aanzet variatie van de aanzet minder effect op de ruwheid heeft, dan bij hogere waarden van de aanzet. Men zou eventueel kunnen bekijken hoe de ruwheid varieert bij kleine variaties van de aanzet tussen $\emptyset.05$ mm/tand en $\emptyset.15$ à $\emptyset.2$ mm/tand. De tijdswinst die men behaalt bij een grotere aanzet kan afgewogen worden tegen de toename van de ruwheid, dit natuurlijk afhankelijk van de resultaten.

4.4 De snijsnelheid.

Uit de waarnemingen blijkt dat de invloed van de snijsnelheid gemiddeld genomen klein is. Een lichte stijging met variaties voor de verschillende frezen van $\emptyset.2$ μm ($R=15$ mm), $\emptyset.15$ μm ($R=7.5$ mm) en $\emptyset.1$ μm ($R=5$ mm) is waar te nemen.

4.5 De snedediepte.

Een toename van de snedediepte leidt tot een toename van de ruwheid in lengterichting met waarden van $\emptyset.5$ μm ($R=15$ mm) en $\emptyset.15$ μm ($R=5$ mm). Alleen voor de radiusfrees met $R=7.5$ is een afname te zien van $\emptyset.18$ μm .

4.6 De stapgrootte.

De invloed van de stapgrootte op de optredende ruwheid is hetzelfde zoals de theorie die aangeeft, namelijk een toenemende ruwheid bij toenemende stapgrootte. Wel blijkt dat, voor theoretische waarden van de ruwheid kleiner dan 1 à 1.5 μm , de optredende ruwheid veel verschilt met de theoretische ruwheid. Pas bij waarden groter dan 1.5 à 2 μm gaat de optredende ruwheid de theoretische benaderen. Bij de verschillende frezen is dezelfde tendens waarneembaar, echter bij de geslepen frees 'loopt' de werkelijke ruwheid van de theoretische weg bij toename van $R_a(\text{th})$.

4.7 De contacthoek.

De contacthoek heeft weinig invloed op de ruwheid in dwarsrichting. Over de invloed op de ruwheid in lengterichting is totaal niets te zeggen. Voor de diverse frezen zijn totaal verschillende resultaten te zien, het verloop van de ruwheid bij variatie van de contacthoek is uiterste grillig te noemen. Wel kunnen we veronderstellen dat het verschil in ruwheid niet ligt aan een eventueel toenemende instabiliteit van de freesbank. Zelfs nadat de frezen geslepen waren kregen we weer een totaal ander verloop van de ruwheid te zien.

Het is aan te bevelen om het verloop van de radius van de bolkopfrees en de invloed hiervan op de ruwheid nader te bekijken. Ook zou de invloed van de andere geometrie-parameters van de frees op de ruwheid bestudeerd moeten worden.

5 Slotopmerkingen.

Het blijkt dat de invloeden van de onderzochte parameters vrij duidelijk naar voren komen, behalve de invloed van de contacthoek is onduidelijk. Wat niet naar voren is gekomen, is welke parameter er de oorzaak van is dat de theoretische ruwheid niet gehaald wordt. Om hier een (eventueel) duidelijker beeld van te krijgen zou de invloed van de andere parameters bekend moeten zijn. Tevens zou verder gegaan moeten worden met het experimenteren met hardmetalen frezen.

De theoretische ruwheid wordt oversteget!

6 Literatuurlijst.

- [1] Brouwers J.H.M.,
Onderzoek naar de mogelijkheden voor
doorlooptijdverkorting van wikkelmallen,
WPA-Rapport no. 0378, Eindhoven (1987).

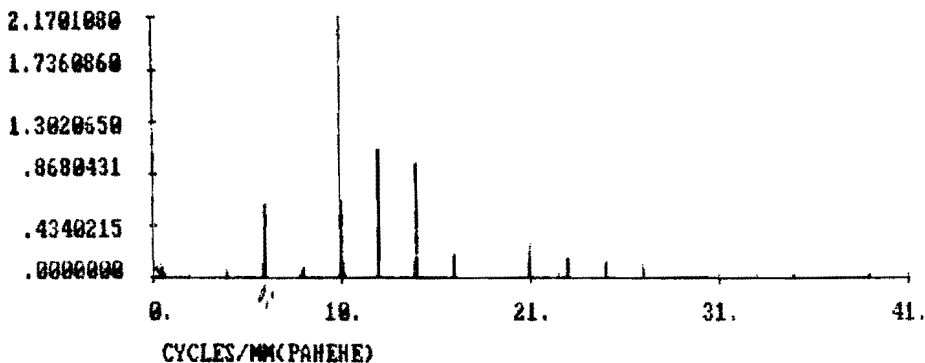
- [2] Schellekens P., Struik K., Schoot H. van der,
Werktuigkundige Meettechniek dl. 1,
Collegedictaat TUE no. 4629, Eindhoven (1987).

- [3] Gerritzen R., Hijink J.A.W., Molengraft S. van der,
Schoot H. van der,
Numerieke Besturing,
Collegedictaat TUE no. 4608, Eindhoven (1987).

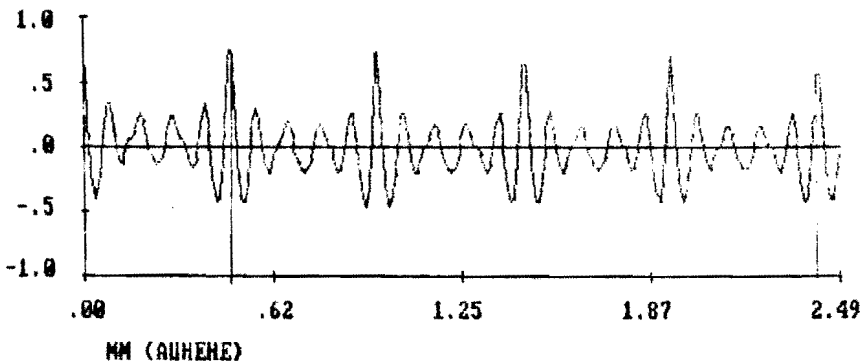
Symbolenlijst.

A	mm/tand	aanzet
D	mm	snedediepte
K	-	verhoudingsfactor Ra(l)/Ra(th)
R	mm	freesradius
Ra	um	ruwheidswaarde
Ra(th)	um	theoretische Ra-waarde
Ra(l)	um	in lengterichting gemeten Ra-waarde
Ra(d)	um	in dwarsrichting gemeten Ra-waarde
S	mm	stapgrootte
V	m/min	snijsnelheid
θ	graden	contacthoek

POWER[um3]



AUTOCORR.



OPFRWHD.FOR, VERWERKING OPFRVLAKTERONHETDMEETGEGEVENS, PF-8-7

MESSING 065 R15

D0.5 V70 A0.05

S=0.485

MECS

RA(TH)=0.5

2111624L.A01

WFL =2500

STAP =10.00

NORD = 2000

Rt = 7.1213

Rq = 1.2024

Ra = .9897

Rp = 3.4652

Rmin =-3.6562

SKEW = .1336

KURT = 2.5025

FLTSRT = 0

BWNG = 1

RZDIN= 6.0450

ACLM3 = 5

RZ(1:ACLM3):

6.3880 5.5833 6.8746 5.5568 5.8226

POWMAX = 2.1701 MICROMETER CUBE

FREKMA = 10.3000 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]

MXFREK = 41.2500 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]

DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]

FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]

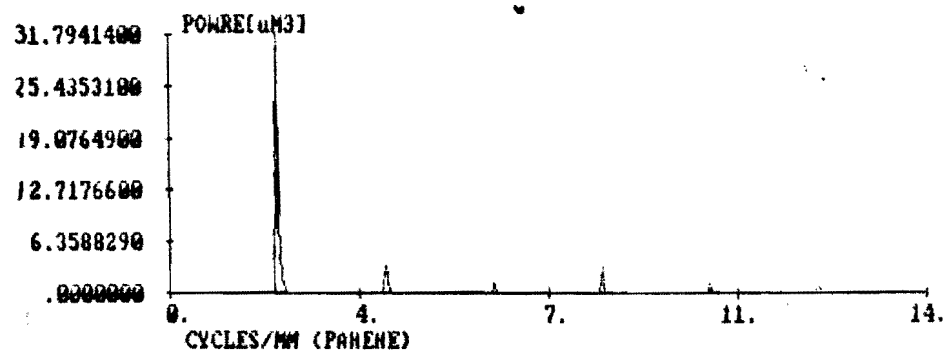
K = 207

KK = 826

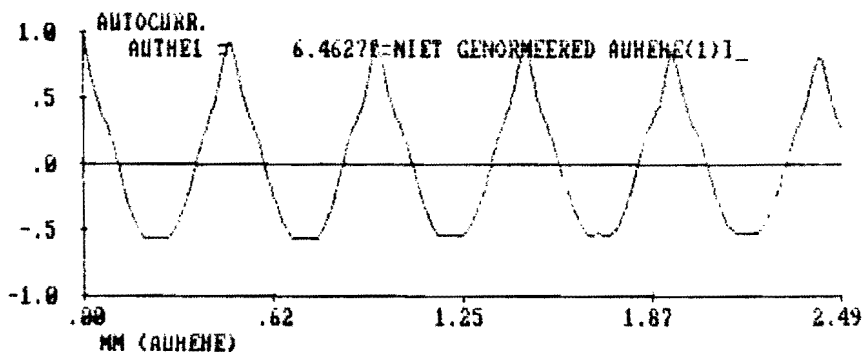
FLTSRT = 0

BWNG = 1

WDWRT = 2



File name 2711624L.M01 _



File name 2711624L.M01

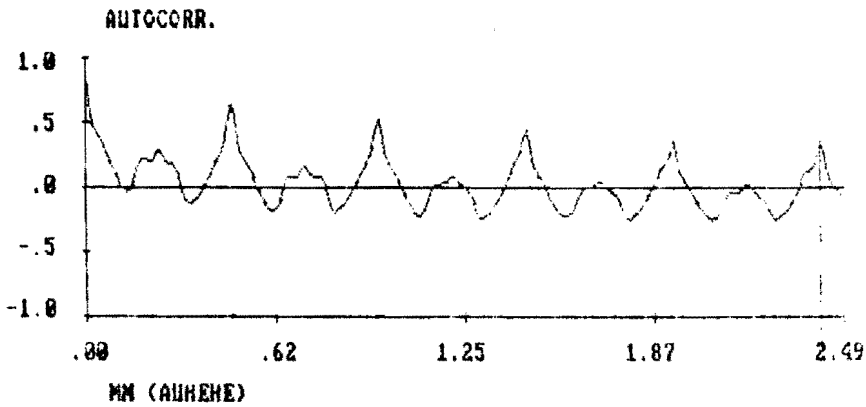
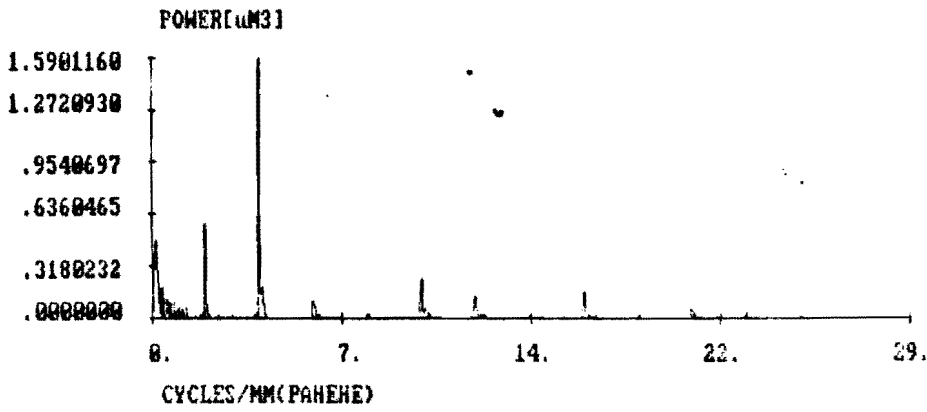
OPPRWHD.FOR, VERWERKING OPFERVLAFTERDWEIDMETBOOLVENS, P.F-3-7

MESSING @70 RIS DO.S V90 A0.05 0-0.695
 MECS RA(TH)=0.5 2711624L.F01
 WFL =2000 STAP =10.00 NORD = 2000

Rt =12.8290 Rq = 2.8367 Ra = 1.2581 Rp = 7.2067
 Rmin =-5.6224 SKEW = .3186 KURT = 2.6397 FLTURT = 0 BWNG = 1
 RZDIN=12.1417 ACLM3 = 5

RZ(1:ACLM3):
 11.854012.088112.519111.925312.2220

POWMAX = 31.7941 MICROMETER CURVE
 FREKHA = 2.0500 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]
 MXFREK = 14.4500 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]
 DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]
 FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]
 K = 42 KK = 290 FLTERT = 0 BIRD = 1 WDWSET = 2



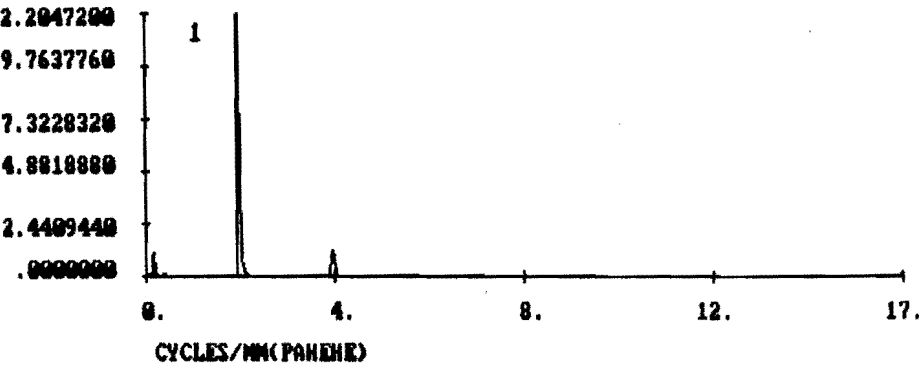
OPPRWHD.FOR, VERWERKING OPIERVLAATERUNHEIDENETJESSEVENS, M1-9-7

MESSING @S0 R15 DC.5 V90 A0.05 S=0.405
 MEC5 RA(TH)=0.5 001629LLA01
 WFL =2500 STAF =10.00 NORD = 2000

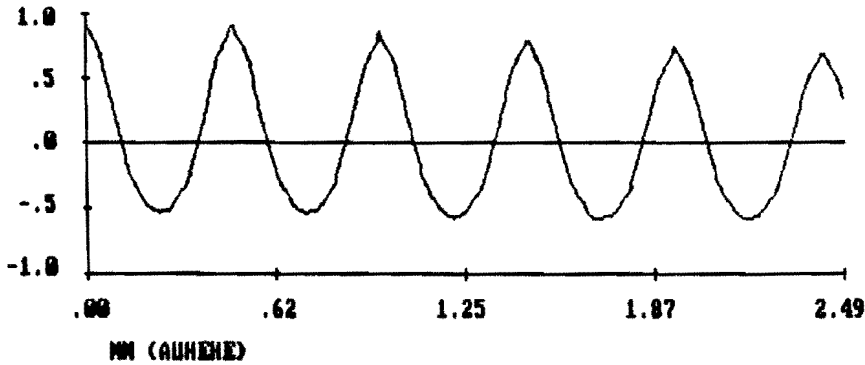
Rt = 6.9091 Rq = 1.1663 Ra = .9176 Rp = 3.6533
 Rmin = -3.2588 SKEW = .2447 KURT = 3.0362 FILTER = 0 FWA0 = 1
 RZDIN = 5.7333 ACLM3 = 5
 RE(1:ACLM3):
 5.4877 4.9535 5.4172 5.8991 6.9091

POWMAX = 1.5901 MICROMETER CUBE
 FREKMA = 4.1500 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]
 MXFREK = 28.9500 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]
 DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FIRST)]
 FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]
 K = 84 KK = 500 FLTRFI = 0 BWBG = 1 POWERT = 2

POWER[μM3]



AUTOCORR.



OPPRWHD.FOR, VERWERKING OPPERVLAKTERUWHEIDMEETGEDEVENS, PF-8-7

1ESSING @15 R15

D0.5 V90 A0.05

S=0.485

1EC5

Ra(th)=0.5

2911624S.A03

WFL =2500

STAP =10.00

NORD = 2000

Rt = 7.6471

Rq = 1.6916

Ra = 1.4081

Rp = 4.2315

Rmin =-3.4155

SKEW = .7528

KURT = 2.3097

FLTSRT = 0

BWKG = 1

RZDIN= 6.6976

ACLM3 = 5

RZ(1:ACLM3):

6.6389 6.7623 6.2748 7.2860 6.5257

POWMAX = 12.2047 MICROMETER CUBE

FREKMA = 2.0500 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]

MXFREK = 16.5000 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]

DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]

FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]

K = 42

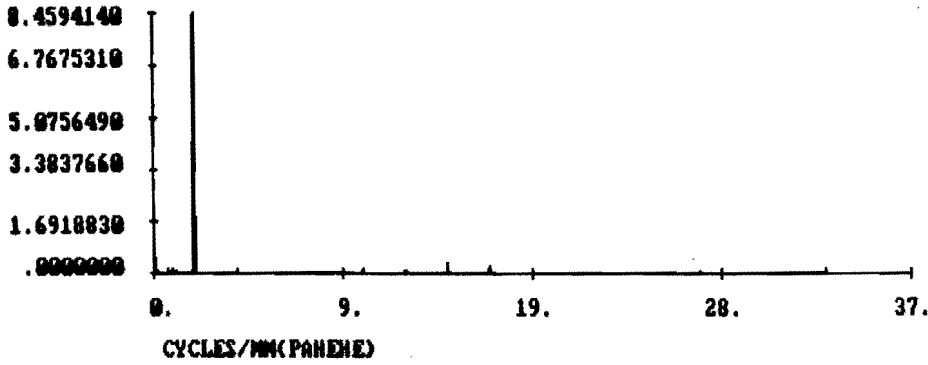
KK = 331

FLTSRT = 0

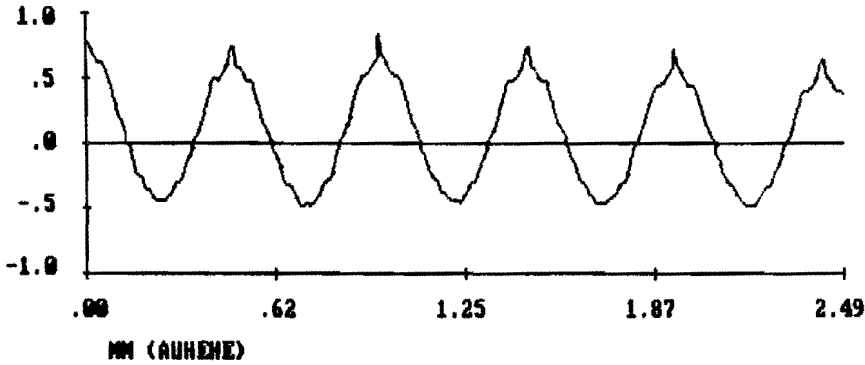
BWKG = 1

WDWSRT = 2

POWER(μM3)



AUTOCORR.



OPPRWD.FOR, VERWERKING OPPERVLAKTERUWHEIDMEETGEGEVENS, PF-8-7

Messing @20 R15

D0.5 V90 A0.05

S=0.485

MEC5

Ra(th)=0.5

2211624S.A02

WFL =2500

STAP =10.00

NORD = 2000

Rt = 8.2816

Rq = 1.5292

Ra = 1.2306

Rp = 4.8682

Rmin =-3.4134

SKEW = .9472

KURT = 2.8329

FLTSRT = 0

BWKG = 1

RZDIN= 7.0691

ACLM3 = 5

RZ(1:ACLM3):

7.1978 7.3103 6.6986 6.7467 7.3921

POWMAX = 8.4594 MICROMETER CUBE

FREKMA = 2.0500 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]

MXFREK = 37.1000 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]

DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]

FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]

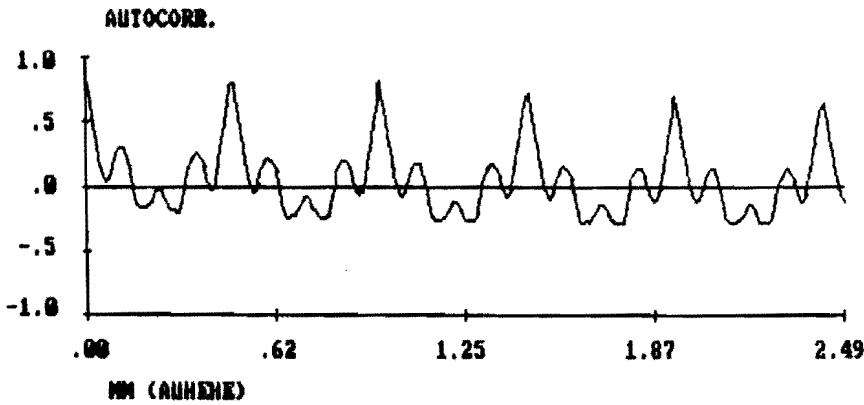
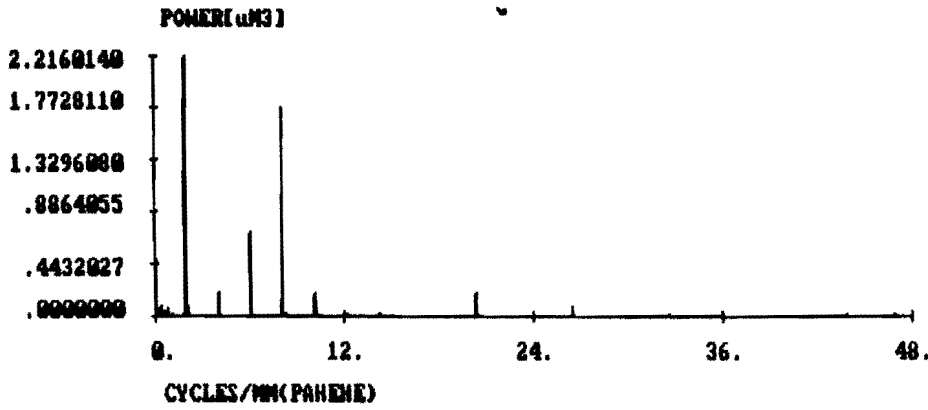
K = 42

KK = 743

FLTSRT = 0

BWKG = 1

WDWSRT = 2

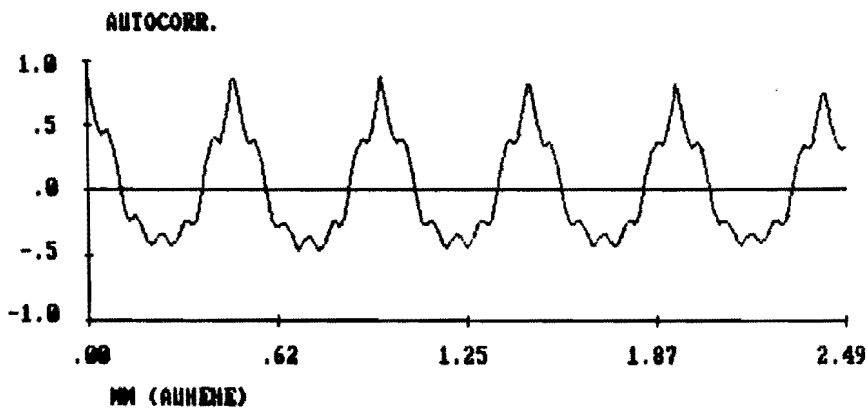


OPFRWHD.FOR, VERWERKING OPPERVLAKTERUWHEIDMEETGEGEVENS, PF-8-7

Messing @30 R15 D0.5 V90 A0.05 S=0.485
 MEC5 Ra(th)=0.5 2311624S.A05
 WFL =2500 STAP =10.00 NORD = 2000

Rt = 5.8831 Rq = 1.1144 Ra = .9092 Rp = 3.0170
 Rmin =-2.8661 SKEW = .2957 KURT = 2.5414 FLTSRT = 0 BWKG = 1
 RZDIN= 5.4882 ACLM3 = 5
 RZ(1:ACLM3):
 5.8831 5.5567 5.2853 5.7223 4.9934

POWMAX = 2.2160 MICROMETER CUBE
 FREKMA = 2.0500 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]
 MXFREK = 48.4500 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]
 DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]
 FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]
 K = 42 KK = 970 FLTSRT = 0 BWKG = 1 WDWSRT = 2



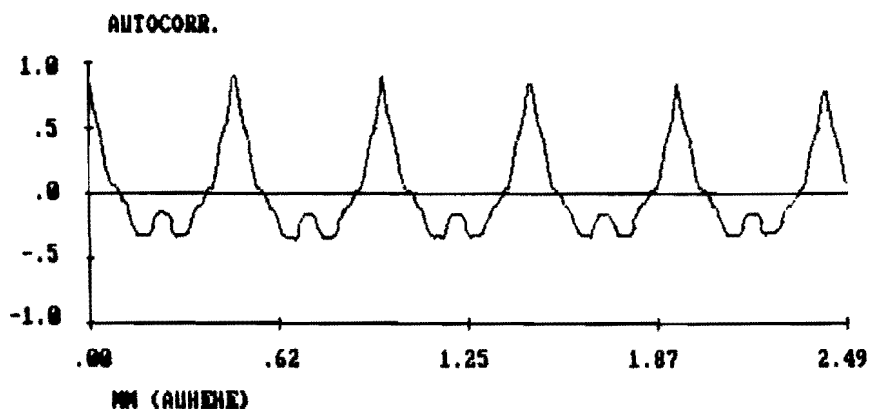
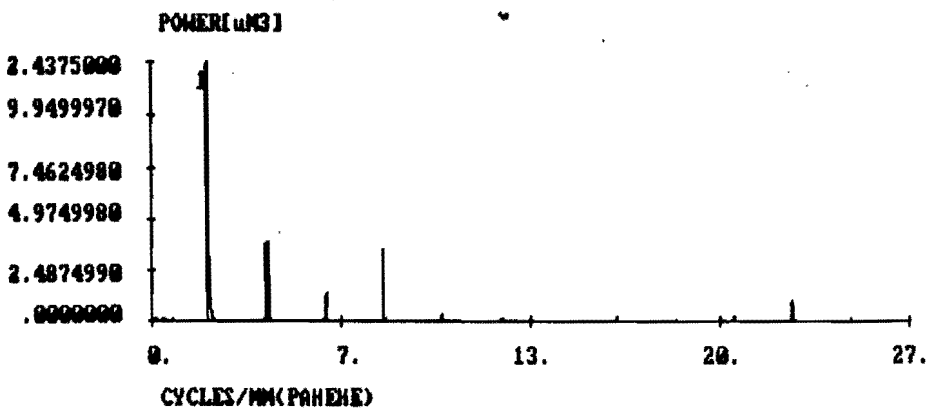
OPPRWHD.FOR, VERWERKING OPPERVLAKTERUWHEIDMEETGEGEVENS, PF-8-7

Messing @40 R15 D0.5 V90 A0.05 S=0.485
 MEC5 Ra(th)=0.5 2411624S.A02
 WFL =2500 STAP =10.00 NORD = 2000

Rt = 7.5467 Rq = 1.4573 Ra = 1.1836 Rp = 3.7741
 Rmin = -3.7726 SKEW = .3690 KURT = 2.6381 FLTSRT = 0 BWKB = 1
 RZDIN= 7.1537 ACLM3 = 5

RZ(1:ACLM3):
 7.1024 7.3844 7.2527 6.7393 7.2899

POWMAX = 7.0214 MICROMETER CUBE
 FREKMA = 2.0500 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]
 MXFREK = 18.5500 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]
 DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]
 FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]
 K = 42 KK = 372 FLTSRT = 0 BWKB = 1 WDWSRT = 2

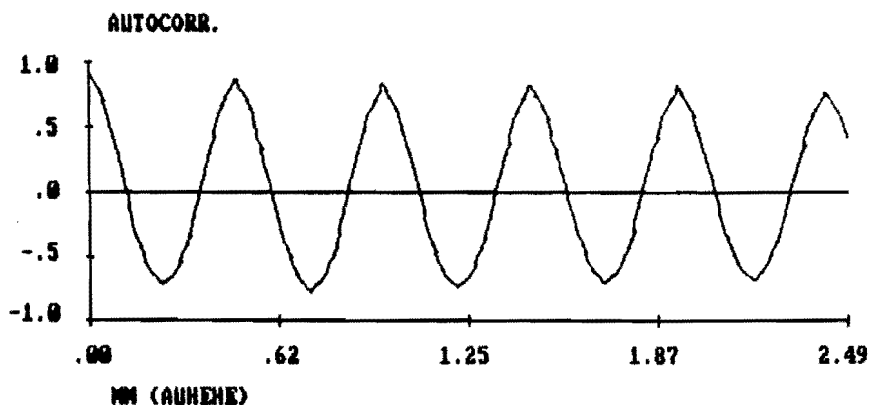
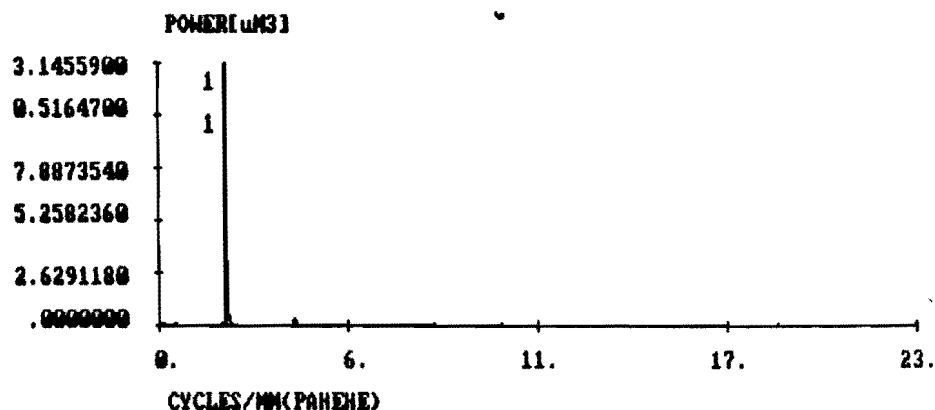


OPPRWHD.FOR, VERWERKING OPPERVLAKTERUWHEIDMEETGEGEVENS, PF-8-7

Messing @50 R15 D0.5 V90 A0.05 S=0.485
 MEC5 Ra(th)=0.5 2511624S.A04
 WFL =2500 STAP =10.00 NORD = 2000

Rt =12.0193 Rq = 2.1742 Ra = 1.7789 Rp = 4.2656
 Rmin =-7.7537 SKEW = -.3394 KURT = 2.8324 FLTSRT = 0 BWKG = 1
 RZDIN=10.5241 ACLM3 = 5
 RZ(1:ACLM3):
 10.674310.008710.255610.457511.2243

POWMAX = 12.4375 MICROMETER CUBE
 FREKMA = 2.0500 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]
 MXFREK = 26.8000 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]
 DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]
 FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]
 K = 42 KK = 537 FLTSRT = 0 BWKG = 1 WDWSRT = 2

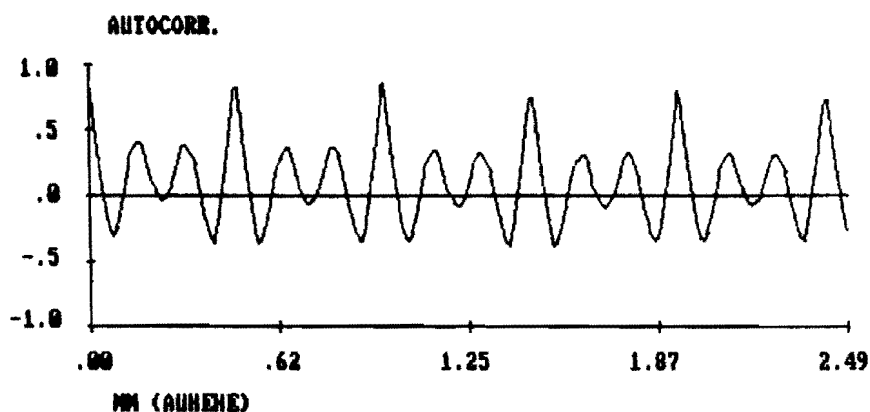
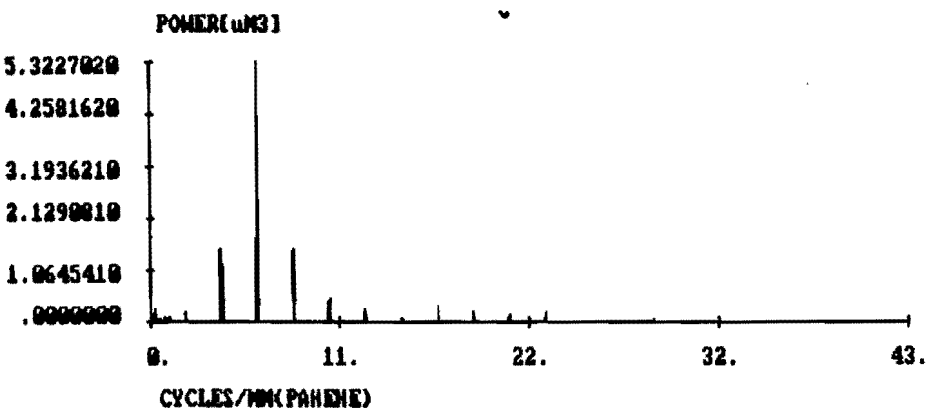


OPPRWHD.FOR, VERWERKING OPFERVLAKTERUWHEIDMEETGEGEVENS, PF-8-7

Messing @55 R15 D0.5 V90 A0.05 S=0.485
 MECS Ra(th)=0.5 2011624S.A02
 WFL =2500 STAP =10.00 NORD = 2000

Rt = 7.5445 Rq = 1.6710 Ra = 1.3985 Rp = 3.3265
 Rmin = -4.2179 SKEW = -.3584 KURT = 2.1706 FLTSRT = 0 BWKG = 1
 RZDIN= 6.9809 ACLM3 = 5
 RZ(1:ACLM3):
 6.9526 7.1121 7.3869 6.7705 6.6824

POWMAX = 13.1456 MICROMETER CUBE
 FREKMA = 2.0500 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]
 MXFREK = 22.7000 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]
 DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]
 FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]
 K = 42 KK = 455 FLTSRT = 0 BWKG = 1 WDWSRT = 2



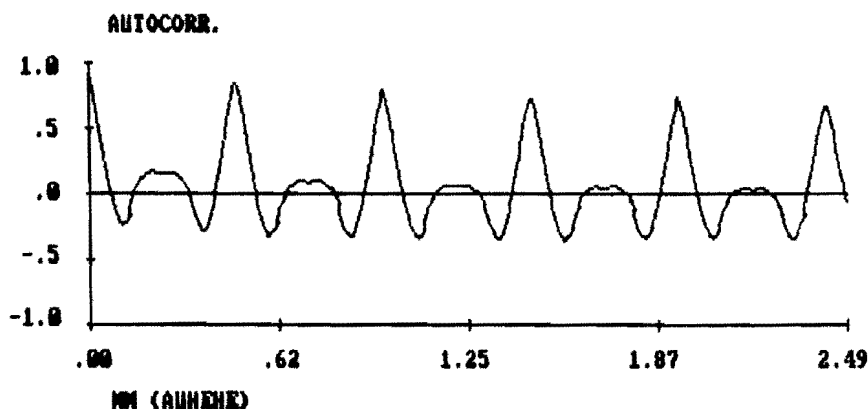
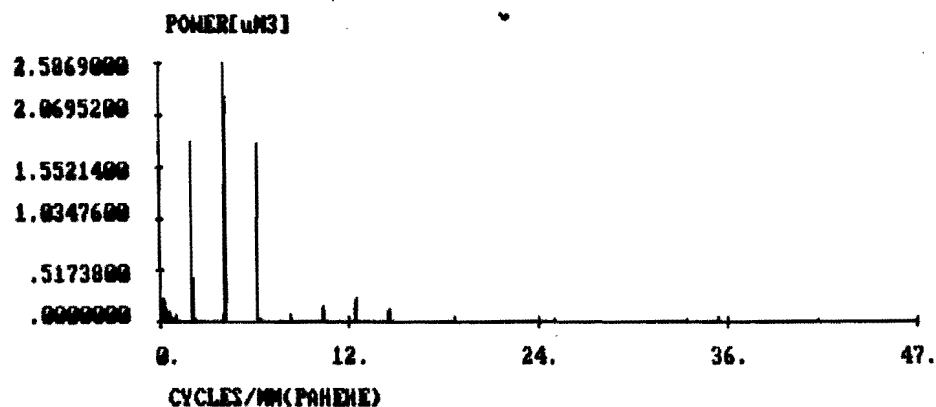
OPPRWHD.FOR, VERWERKING OFFERVLAKTERUWHEIDMEETGEGEVENS, PF-8-7

Messing @60 R15 D0.5 V90 A0.05 S=0.485
 MEC5 Ra(th)=0.5 2611624S.A04
 WFL =2500 STAP =10.00 NORD = 2000

Rt = 9.0071 Rq = 1.6057 Ra = 1.3034 Rp = 4.1359
 Rmin = -4.8712 SKEW = .2884 KURT = 2.7220 FLTSRT = 0 BWKG = 1
 RZDIN= 8.0095 ACLM3 = 5

RZ(1:ACLM3):
 7.8282 7.6117 8.0019 8.5056 8.0999

POWMAX = 5.3227 MICROMETER CUBE
 FREKMA = 6.2000 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]
 MXFREK = 43.3000 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]
 DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]
 FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]
 K = 125 KK = 867 FLTSRT = 0 BWKG = 1 WDWSRT = 2

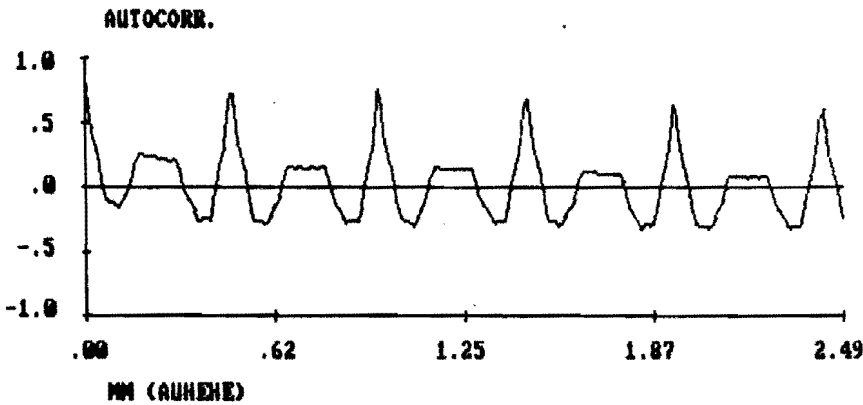
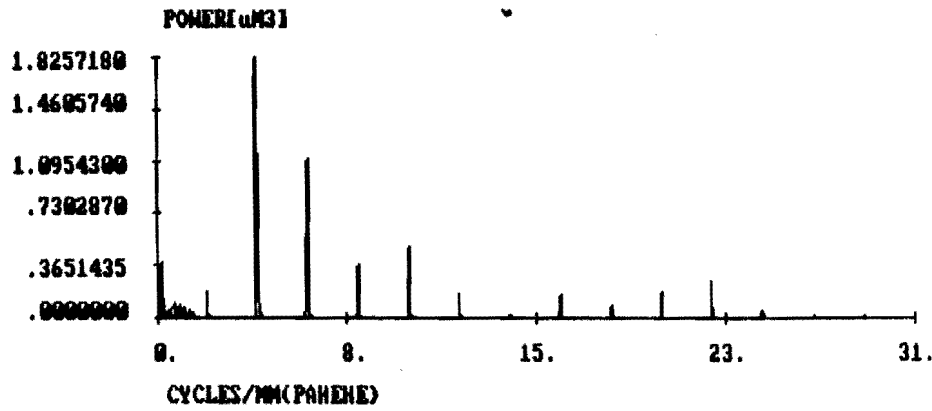


OPPRWHD.FOR, VERWERKING OPFERVLAKTERUWHEIDMEETGEGEVENS, PF-8-7

Messing @65 R15 D0.5 V90 A0.05 S=0.485
MECS Ra(th)=0.5 2111624S.A02
WFL =2500 STAP =10.00 NORD = 2000

Rt = 7.1999 Rq = 1.3780 Ra = 1.0800 Rp = 4.3183
Rmin = -2.8817 SKEW = 1.0751 KURT = 3.0291 FLTSRT = 0 BWKG = 1
RZDIN= 6.3381 ACLM3 = 5
RZ(1:ACLM3):
6.8124 5.8348 6.7245 6.1920 6.1267

POWMAX = 2.5869 MICROMETER CUBE
FREKMA = 4.1000 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]
MXFREK = 47.4000 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]
DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]
FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]
K = 83 KK = 949 FLTSRT = 0 BWKG = 1 WDWSRT = 2

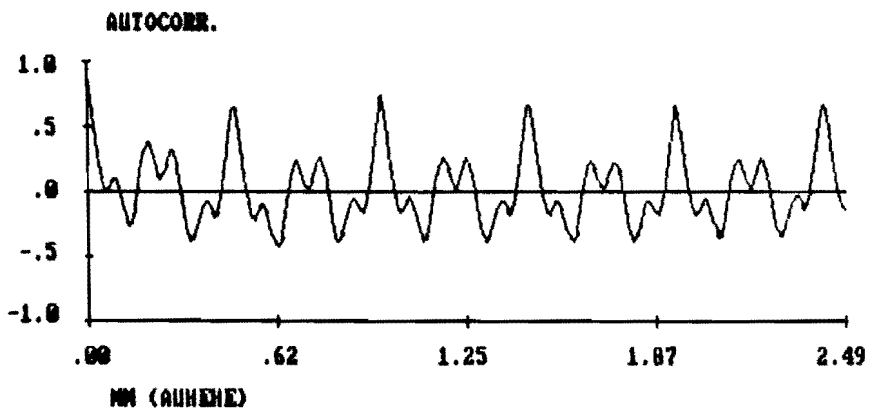
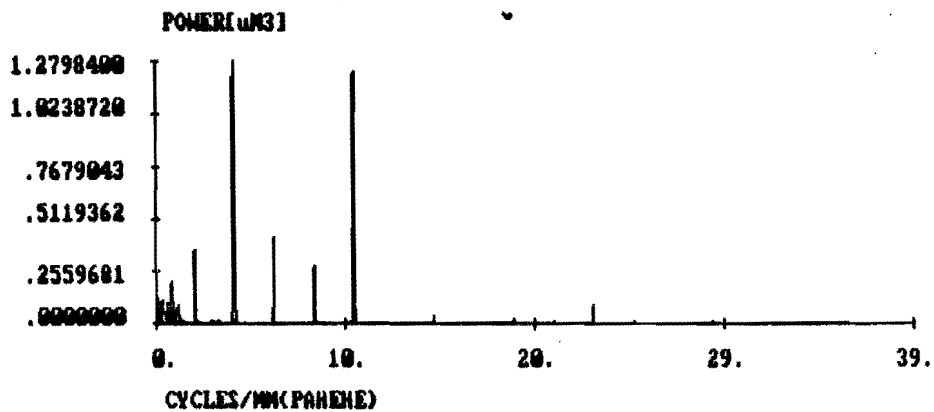


OPPRWHD.FOR, VERWERKING OPFERVLAKTERUWHEIDMEETGEGEVENS, PF-8-7

Mesing @70 R15 D0.5 V90 A0.05 S=0.485
 MEC5 Ra(th)=0.5 2711624S.A05
 WFL =2500 STAP =10.00 NORD = 2000

Rt = 6.5861 Rq = 1.1413 Ra = .8928 Rp = 3.8943
 Rmin = -2.6918 SKEW = .7586 KURT = 3.2910 FLTSRT = 0 BWKG = 1
 RZDIN= 6.0232 ACLM3 = 5
 RZ(1:ACLM3):
 6.1398 5.7336 5.9675 5.9201 6.3549

POWMAX = 1.8257 MICROMETER CUBE
 FREKMA = 4.1000 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]
 MXFREK = 30.9000 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]
 DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]
 FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]
 K = 83 KK = 619 FLTSRT = 0 BWKG = 1 WDWSRT = 2



OPPRWHD.FOR, VERWERKING OPPERVLAKTERUWHEIDMEETGEGEVENS, FF-8-7

Messing @80 R15 D0.5 V90 A0.05 S=0.485
 MEC5 Ra(th)=0.5 2811624S.A02
 WFL =2500 STAP =10.00 NORD = 2000

Rt = 6.3689 Rq = 1.0326 Ra = .8247 Rp = 3.5868
 Rmin =-2.7821 SKEW = .5783 KURT = 2.9407 FLTSRT = 0 BWKG = 1
 RZDIN= 5.1927 ACLM3 = 5
 RZ(1:ACLM3):
 4.5849 6.1888 5.1210 5.0171 5.0515

POWMAX = 1.2798 MICROMETER CUBE
 FREKMA = 4.1500 CYCLES/MM [= MAIN FREQUENCY]
 MXFREK = 39.2000 CYCLES/MM [= MAX. FREQUENCY]
 DLTF = .0500 CYCLES/MM [= FREQUENCY STEP (FRSTEP)]
 FMAX = 50.0000 CYCLES/MM [= BANDWIDTH]
 K = 84 KK = 785 FLTSRT = 0 BWKG = 1 WDWSRT = 2