

Draaien van glas met een beitel

Ing. R. Brehm en Dr. Ir. J. Haisma, medewerkers van het Philips Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven

Samenvatting

Dit artikel beschrijft het verspanen van glas met een beitel. De materiaalafname geschiedt in de vorm van een continue spaan, zoals bij de meeste metalen. Het verspanen van glas is mogelijk als het een viscositeit heeft van $10^{6,6}$ Pa.s; de temperatuur van het glas is dan gelijk aan de American Softening Temperature. Continue spaanvorming is slechts mogelijk binnen een temperatuurinterval van 20 á 30°C.

Transparante oppervlakken kunnen worden verkregen door het glasoppervlak tijdens de bewerking lokaal thermisch te polijsten. Een negatieve spaanhoek van $\alpha = -10^\circ$ gaf bij het draaien de beste resultaten.

Inleiding

Asferische oppervlakken worden reeds lang met voordeel toegepast in optische systemen. De vervaardiging van asferische optiek door slijpen en polijsten is tijdrovend en daarom duur. De toepassing is hoofdzakelijk beperkt gebleven tot die in professionele systemen zoals astronomische kijkers, hoogwaardige foto-apparatuur en satellieten.

Er is echter een toenemende belangstelling voor toepassing van asferische vlakken in consumentenartikelen zoals televisie-opnamesystemen, goedkope foto-optiek, compact discspelers en laser-servision.

Natuurlijk blijft het mogelijk om met sferische componenten optische systemen te vervaardigen, maar dat geeft nadelen als het gaat om een samenstel van een groot aantal lenzen in verband met interne reflecties en een verhoging van het gewicht.

De voordelen van asferische optiek kunnen als volgt worden samengevat:

- betere beheersing van de afbeeldingsfouten,
- vermindering van het aantal benodigde lenzen.

Voor consumententoepassingen wordt gezocht naar methoden om asferische optiek goedkoop te vervaardigen [1]. Een grote kostenbesparing is reeds verkregen door bewerkingstechnieken te optimaliseren en door gebruik te maken van automatisch bestuurde slijp- en polijstmachines.

Er worden echter ook nieuwe technieken ontwikkeld zoals persen met hoge precisies en het repliceren van oppervlakken met behulp van mallen. Het

Dit artikel is eerder gepubliceerd in PT Aktu-eel, mei 1985

draaien van glas is een ander voorbeeld van een onderzoek gericht op zo'n nieuwe ontwikkeling.

Slijpen van glas

Er zijn verschillende methoden bekend om asferische oppervlakken te vervaardigen [2, 3], waarvan die van slijpen en polijsten met een flexibele polijstkop een veel toegepaste methode is. Het slijpen en polijsten gebeurt in verschillende elkaar opvolgende bewerkingsstappen met verschillende korrelgroottes. Veel onderzoek is gedaan om deze bewerkingsstappen beter op elkaar af te stemmen door deelprocessen te optimaliseren [4, 5]. Ook kunnen bewerkingsprocessen worden versneld door gebruik te maken van computergestuurde machines waardoor het mogelijk is de verschillende procesparameters beter te controleren en te corrigeren. Jones beschreef een dergelijk computergestuurd polijstproces [6] om asferische spiegels te vervaardigen.

Een gebruikelijke methode voor het beschrijven van het bewerkingsproces is een slijpmodel waarin gebruik gemaakt wordt van een zogenaamde eenpuntskras. Een diamantpunt bepaalt daarbij de relatie tussen de vorm van de diamantpunt en de kracht die nodig is om een groef in het glasoppervlak te maken. Bij het maken van een dergelijke groef kan onder bepaalde condities plastische deformatie optreden. Er ontstaan soms kleine krulvormige spaantjes zoals uit onderzoekingen van Veldkamp [7] en Bush [8] is gebleken. Ook bij het slijpen van glas met hoge omtreksnelheden ($V = 100$ m/s) treden plastische deformaties op. Er ontstaan dan slierten vloeibaar glas die onregelmatig van vorm zijn, zoals Broese van Groe-

nou en anderen lieten zien [9, 10].

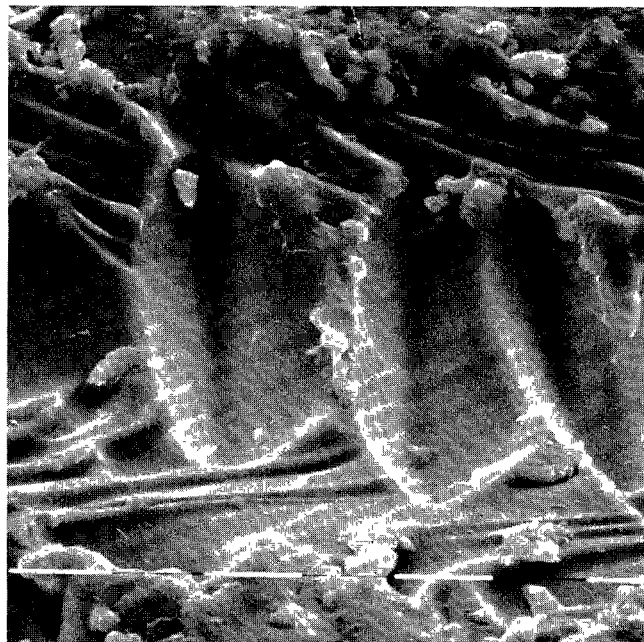
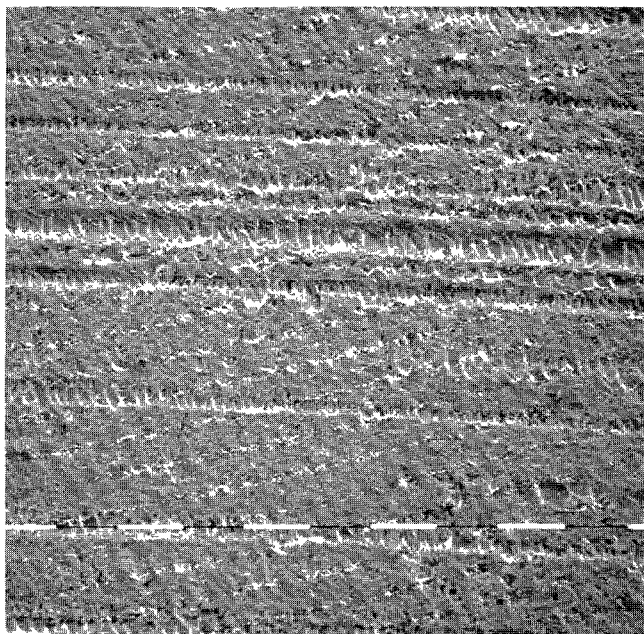
Bij de bewerking speelt de viscositeit van het glas een belangrijke rol, evenals een aantal andere aspecten zoals de aard van de belasting, de bewerkingsnelheid, de samenstelling en de structuur van het glas in verband met zijn warmtegeleiding en de warmte-inhoud. De temperatuur van het glas is in dit geheel een voorname factor, omdat het de mate van deformatie bepaalt afhankelijk van de kracht die tijdens de bewerking op het glas wordt uitgeoefend. Belangrijk daarbij is dat de spanning die tijdens de deformatie in het glas optreedt lager blijft dan de spanning waarbij brose breuk optreedt.

Draaien van glas

Zoals in het vorige hoofdstuk is vermeld treedt bij het slijpen van glas wel eens plastische deformatie op. Ook bij slijp-onderzoek op basis van zogenaamde eenpuntskrassen werd dit effect waargenomen. Soms ontstonden daarbij glasspaantjes van zeer geringe afmetingen, enkele micrometers. Deze verschijnselen waren aanleiding een reeks experimenten op te zetten om te onderzoeken of het mogelijk was glas met een beitel te verspanen.

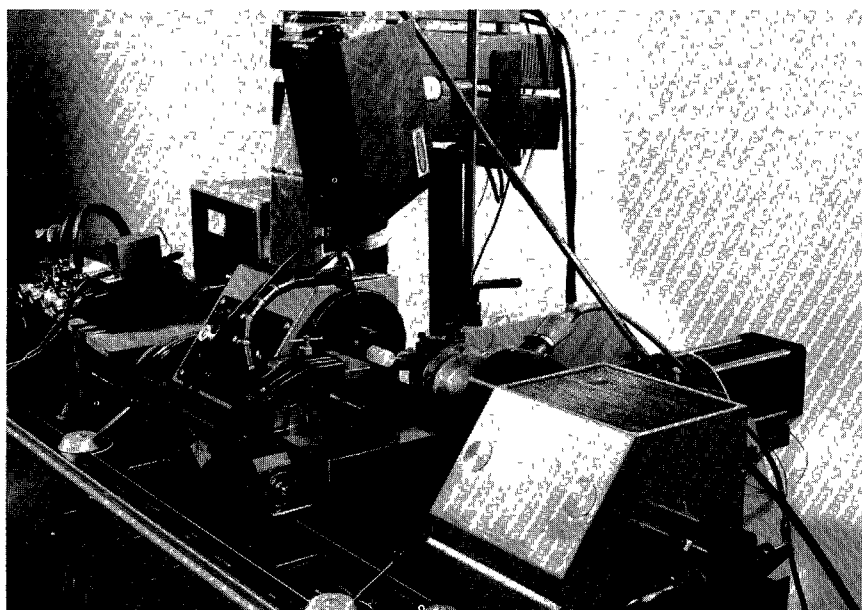
Figuur 1 toont een opname gemaakt met een Scanning Elektronen Microscoop van een oppervlak van een glazen werkstuk dat met een beitel is vervaardigd. Het oppervlak is gerealiseerd op een draaibank waarvan de hoofdspil gelagerd was in wentellagers. Duidelijk is te zien dat de beitel diepe draaisporen heeft gemaakt in het glasoppervlak; figuur 2 toont een detail van deze groef. In de groef is een regelmatig patroon van uitbrokkelingen te herkennen die een gevolg zijn van trillingen. Deze resultaten toonden aan dat hoge eisen gesteld moesten worden aan de stabiliteit en de nauwkeurigheid van de draaibank. De verdere experimenten zijn daarom uitgevoerd op een optische draaibank [11]; zie figuur 3 en 4. De X- en Y-sleden van deze draaibank zijn hydrostatisch gelagerd, evenals de hoofdspil; het toerental van de hoofdspil is continu instelbaar tussen 200 en 1000 omw./min.

Slijpen van glas gebeurt over het algemeen met harde slijpkorrels die een negatieve spaanhoek hebben. Tot het onderzoek behoorde het bepalen van

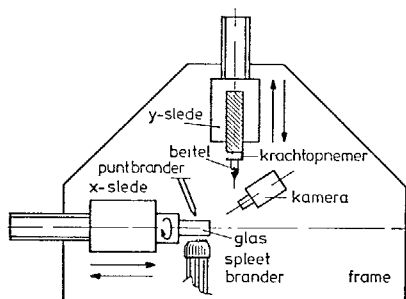


Figuur 1 Met een beitel gemaakt glasoppervlak (SF 10 glas); één schaaldeel is 100 μm

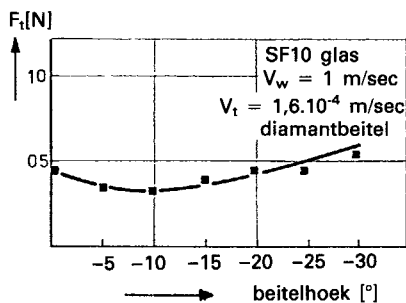
Figuur 2 Uitbrokkelingen in een draaigroef, één schaaldeel is 10 μm



Figuur 3 Proefopstelling op een optische draaibank



Figuur 4 Schematisch overzicht van de proefopstelling



Figuur 5 Verband tussen de tangentiaalkracht en (negatieve) beitelhoek voor SF10 glas

de optimale beitelhoek voor het draaien van glas met een beitel. Hiertoe is tijdens de bewerking voor verschillende beitelhoeken de beitelkracht bepaald, die in drie loodrecht op elkaar staande richtingen is gemeten. Figuur 5 toont het verband tussen de beitelkracht in tangentiële richting en de spaanhoek voor SF10 glas (SCHOTT); bij $\alpha = -10^\circ$ treedt een minimum in de snijkraft op. De oppervlakteruwheid van het gedraaide glasoppervlak varieerde tussen $R_a = 1,75 \mu\text{m}$ en $R_a = 0,45 \mu\text{m}$. Loodglas toonde een afwijkend gedrag ten opzichte van de andere glazen. Er trad een aanzienlijke versmering op aan het glasoppervlak ondanks het feit dat het een relatief lage hardheid heeft en een relatief laag verwekingspunt. Dit wordt verklaard door de slechte warmtegeleiding van het loodglas; zie figuur 6. De experimenten bij kamertemperatuur zijn uitgevoerd met verschillende beitelmaterialen, zoals diamant, kubisch boriumnitride, diverse soorten hardmetaal en Al_2O_3 . In géén der gevallen was er materiaalafname in de vorm van een continue spaan. De viscositeit van het glas was te hoog; tijdens de materiaalafname ontstond brosser breuk in en aan het oppervlak. Bovendien bleken de standtijden van de gebruikte gereedschappen erg laag te zijn ($G = 100$ tot 1000).

type glas	samenstelling	hardheid N/m ²	AST °C	c J/(kg.K)
G28	Al-B-Na-SiO ₂	8,3·10 ⁹	716	0,87
Pyrex	Al-B-Na-SiO ₂	9,1·10 ⁹	795	0,84
loodglas RD50	Ba-Pb-SiO ₂	4,5·10 ⁹	603	0,39

Figuur 6 Eigenschappen van enkele glazen

Resultaten bij hogere temperatuur

Bij een volgende reeks experimenten werd de viscositeit van het glas verlaagd door met een brander het glas in temperatuur te verhogen. Tijdens het verspanen werd bij de plaats van materiaalafname de temperatuur van het glasoppervlak gemeten met een infraroodsensor van een camerasysteem. Het temperatuurmeetsysteem was teruggekoppeld naar de brander, waardoor het mogelijk was de temperatuur van het werkstukoppervlak constant te houden met een nauwkeurigheid van $\pm 4^\circ\text{C}$.

De mate van spaanvorming als functie van de temperatuur gaf over een zeker temperatuurgebied materiaalafname in de vorm van kleine glasdeeltjes te zien. Door verder verhogen van de temperatuur trad uiteindelijk de gewenste spaanvorming op; zie figuur 7. Deze temperatuur was ongeveer gelijk aan de verwekingstemperatuur van het glas [12]; de viscositeit van het glas was $10^{6,6}$ Pa.s.

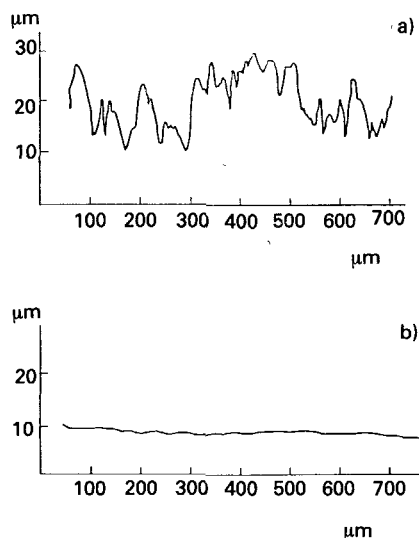
Tegelijk met de beitelbewerking werd het oppervlak met een puntbrander plaatselijk in temperatuur verhoogd, met als resultaat een transparant oppervlak. Figuur 8 toont Talysurfmetingen van een voorbereikt geslepen glasoppervlak dat vervolgens transparant gedraaid werd. Nadien zijn een aantal optische glazen bewerkt met verschillende soorten beitels [13].

Highspeed film

Het proces van glasdraaien is met snelle fotografie vastgelegd [14]. De contactzone van de beitel met het glas is gefilmd met een frequentie van 3000 beelden per seconde. Een aantal van deze beelden is opgenomen in dit artikel, zie de figuren 9 t/m 11. Links op deze foto's is een klein deel van de omtrek van het glaslichaam zichtbaar; de spaan is telkens duidelijk waar te nemen.



Figuur 7 Spaanvorming aan het glasoppervlak; (A: spleetbrander, B: puntbrander).



Figuur 8 Talysurfmetingen van een a) geslepen en vervolgens b) transparant gedraaid oppervlak

Figuur 9 toont het draaien van het glas bij een te lage temperatuur, ongeveer 50°C lager dan de Amerikaanse verwekingstemperatuur. Er is spaanvorming, zij het onregelmatig; kleine deeltjes glas springen weg.

Figuur 10 toont een goede en regelmatige spaanvorming; de temperatuur van het glasoppervlak is overeenkomstig de verwekingstemperatuur.

In figuur 11 is het effect van een te hoge oppervlaktetemperatuur te zien. Versmolten glasdeeltjes zijn vastgehecht aan het glasoppervlak en de spaanvorming is onregelmatig. Deze effecten treden op bij een temperatuur die ongeveer 20°C ligt boven de verwekingstemperatuur.

In de film is tevens een voorbeeld opgenomen van optisch transparant draaien. Door tijdens het draaien het oppervlak met een vlam thermisch te polijsten ontstaat een transparant oppervlak; zie figuur 12. Het gedraaide oppervlak is als een spiegel en de beitel wordt erop gereflecteerd.

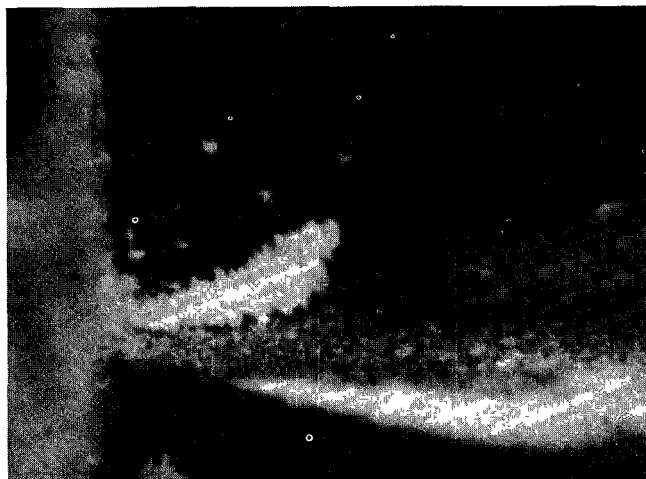
Conclusie

Verspanen van glas met een beitel, met een continue spaanvorming, is mogelijk. De viscositeit van het te verspanen glas moet ongeveer $10^{6,6}$ Pa s bedragen, hetgeen de viscositeit is die hoort bij de Amerikaanse verwekingstemperatuur (A.S.T.M. C 338-73). Een aanzet van 20 à 30 micron is mogelijk. De vormnauwkeurigheid van de gedraaide producten lag binnen enkele microns.

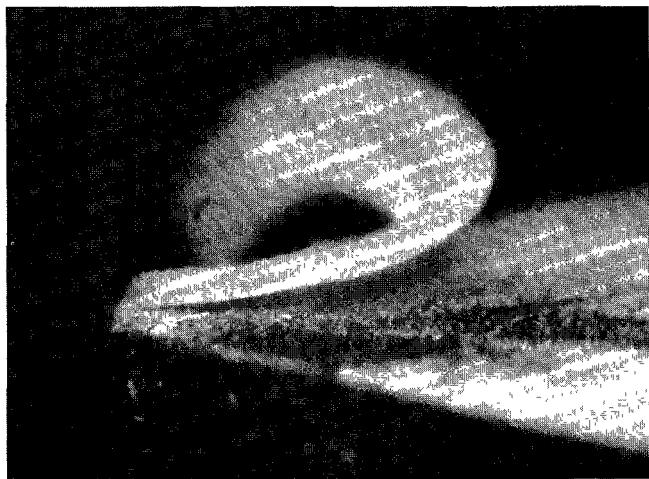
Opgemerkt dient te worden dat geen onderzoek is gedaan naar de invloed van de glassamenstelling op het draairesultaat. Het is aan te nemen dat het mogelijk is een glas te ontwikkelen dat optimaal geschikt is voor verspaning met een beitel.

Verder optimaliseren van bewerkingscondities kan het proces geschikt maken voor de vervaardiging van kleine series asferische optische componenten (low-grade optiek).

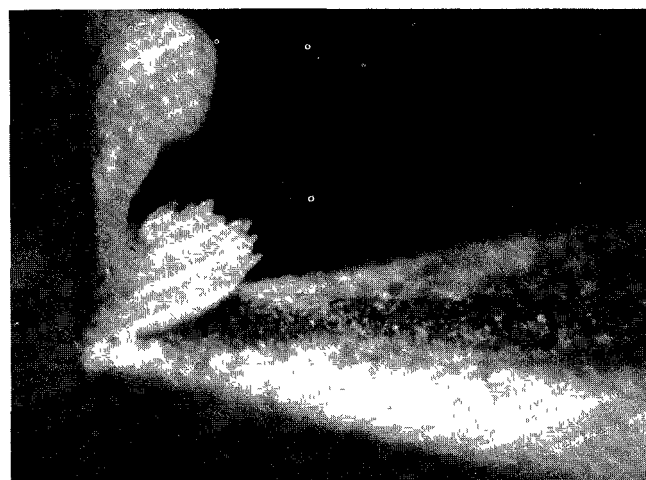
Hierbij danken wij de heren I.D.B. Veldkamp, H.H. Peeters en J.L.M. van de Spank voor hun bijdragen in dit onderzoek; N. Hattu die het krasgedrag van glas bij hoge temperatuur heeft onderzocht; J. Teunissen en K. van Dun voor het uitvoeren van de experimenten.



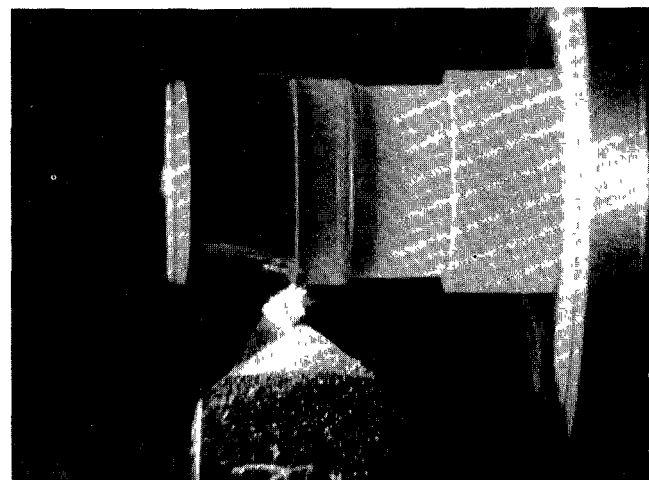
Figuur 9 Glasspaan bij een te lage werkstuktemperatuur



Figuur 10 Continue spaanvorming



Figuur 11 Spaanvorming bij te hoge temperatuur



Figuur 12 Transparant draaien; aanzet 5µm

Literatuur

[1] SIRA-NPL International Seminar on Advances in Optical Production Technology, Teddington (1979), Low-cost aspheric surface generation
 [2] P F Horn, Optical Production Technology, Adam Hilger Ltd., Bristol.
 [3] Asferica, Philips Technisch Tijdschrift 41, 297-317.
 [4] A. Broese van Groenou, N.B.S. Special Publication no. 562 (1979) 191-201 (Science of ceramic machining and surface finishing, Gatesburg).

[5] M Schinker, W. Doll, Basic investigations concerning the processing of optical glasses by diamond tools at high speed, Proceedings DGaO-SPIE Symposium on Optical Surface Technology (1983).
 [6] R.A. Jones, Appd. Opts 17 1889 (1978)
 [7] J.D.B. Veldkamp, N Hattu, G. de With, Fracture mechanics of ceramics, vol 5 (1983) 121-144, Plenum, New York (Bradt, Evans, Hasselman en Lange).
 [8] D.M. Bush, Film E 1331 Inst Wiss. Film, Göttingen BRD (1967).
 [9] A Broese van Groenou, R. Brehm, N.B.S. Special Publication no. 562 (1979) 61-75 (Science of ceramic machining and surface finishing, Gatesburg).

[10] R Brehm, G.F.M. Gasseling, High speed grinding of glass, Philips Research Film no. 1114-A-120 (1977), Eindhoven
 [11] H.J.J Kraakman, J.C.G. de Gast, Philips Tech. Rev. 30 (1969) 117-133.
 [12] Am. Standard ASTM C 338-78 (herzien in 1979) Standaard testmethode voor de bepaling van het verwerkingspunt van glas, Philadelphia: Am. Soc Testing and Materials 1979.
 [13] R. Brehm, K. van Dun, J. Teunissen, J. Haisma, Precision Engineering 1 (1979) 207-214.
 [14] R Brehm, K. van Dun, J. Haisma, Film E 2618, Inst. Wiss. Film, Göttingen BRD (1979), Single point turning of optical glass.