

## Eigenschappen, fabricage en toepassingen van technische keramiek (2)

P.J. van Tilborg

### Vormgeving van technische keramiek

In de meeste gevallen wordt een poeder met een samenstelling die niet veel afwijkt van die van het eindproduct gekozen als grondstof. Bij het bereiken van de vereiste microstructuur is het nu de kunst om de individuele poederdeeltjes of agglomeraten, eventueel gemengd met andere poedervormige fasen, zodanig te stapelen dat na de warmtebehandeling (sinteren) de juiste structuur verkregen wordt. Willen we daarnaast het materiaal in een zekere vorm brengen, dan gaat hierbij ook de interactie met de vormgevingslichamen (matrijs) een rol spelen.

De verschillende vormgevingstechnieken kunnen in drie groepen worden ingedeeld:

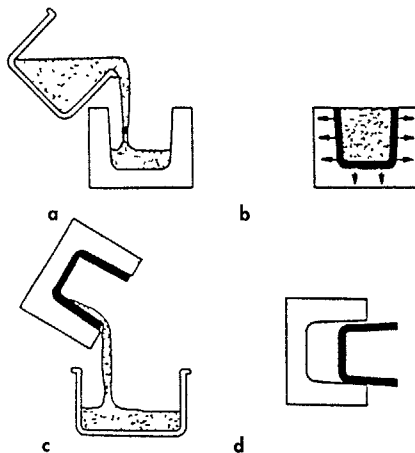
1. Giettechnieken uitgaande van een suspensie:
  - slibgieten;
  - drukslibgieten;
  - plaatgieten.
2. Plastische vormgeving uitgaande van een plastische massa:
  - extruderen;
  - spuitgieten.
3. Persen uitgaande van een poeder of granulaat:
  - (koud) uniaxiaal persen,
  - (koud) isostatisch persen;
  - heet (uniaxiaal) persen: (HP);
  - heet isostatisch persen: (HIP).

Enkele van deze technieken zullen nader worden behandeld.

### Slibgieten

Slibgieten is een eenvoudige methode die de mogelijkheid biedt defectarme, meestal holle, vormstukken te verkrijgen. Men begint met een dummy-lichaam dat ca. 20% groter is dan het uiteindelijke vormstuk dat men wil maken.

Van deze dummy maakt men een negatief in een gipssoort die een groot vermogen heeft om water te absorberen. Giet men nu een oplossing van kerami-



Figuur 5. Schematische weergave van het slibgietsproces:  
a. het vullen van de gipsmal met  $Al_2O_3$ -suspensie,  
b. opbouw van de  $Al_2O_3$ -scherf door wateronttrekking,  
c. uitgieten van overtollige suspensie,  
d. slibgegoten vormstuk verwijderen.

sche deeltjes in water (suspensie) in de mal van gips, dan zal aan het oppervlak, waar de suspensie met het gips in contact staat, zeer snel water aan de suspensie onttrokken worden. Hierdoor zal zich een laag van dicht gestapelde keramische deeltjes vormen die gestaag kan aangroeien zolang het gips voldoende snel water aan de suspensie kan onttrekken. Het werkingsprincipe van het slibgieten is schematisch weergegeven in figuur 5.



Figuur 6. Het slibgieten van een keramisch vormstuk. Op de voorgrond een gedeelte gipsmal met het groene product, het circa 20% kleinere eindproduct en de glazen dummy voor fabricage van de gipsmal.

Vanzelfsprekend neemt de groeisnelheid in de tijd af doordat het gips steeds moeilijker water opneemt en de reeds afgezette laag (scherf) slechter het water doorlaat.

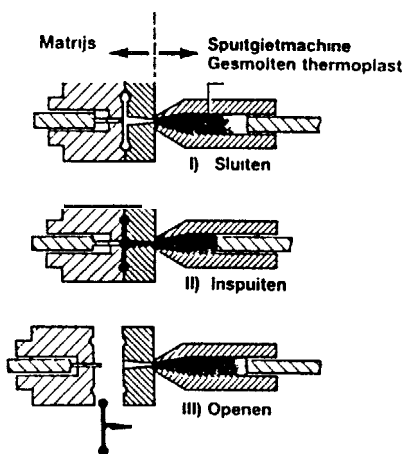
Indien alle deeltjes in de suspensie zich onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen, zullen zij in een stromingsveld bij afzetting bij voorkeur een ideale positie opzoeken. Deze ideale positie komt veelal overeen met die van de dichtste stapeling. De maximale scherfdikte is kleiner naarmate de scherfdichtheid hoger is en de zuigkracht van de mal afneemt. Deze laatste parameter blijkt een zekere vrijheid te geven voor de sturing van dit procédé.

Ook kan men dikke, zij het enigszins poruze, vormstukken maken door de keramische deeltjes in de suspensie te laten samenklonteren (agglomereren). Deze deeltjes sedimenteren als agglomeraten en laten veel ruimte vrij om de vloeistof naar de mal te laten lopen. Is deze mal redelijk dik, dan is een belangrijke bemerking voor de aangroei van de scherf weggenomen. Na het sinteren blijft er echter een zekere restporositeit in het materiaal achter. In figuur 6 is de praktische uitvoering van het slibgieten weergegeven. Ondanks dat slibgieten een eenvoudig procédé is, ontbreekt nog steeds een nauwkeurige modelmatige beschrijving van de werking ervan. Met name de invloed van de suspensiestabiliteit en het stromingspatroon op de structuur van de reeds afgezette laag zijn nog niet volledig bekend.

## Technische keramiek (2)

## Spuitgieten en extrusie

Dit zijn bijzondere vormen van persen waarbij een samenhangende dispersie (poeder met elastoplastische polymeren) door of in een matrijs geperst wordt. De bindmiddelen, vaak van zeer complexe samenstelling en tot een hoge concentratie aanwezig, zorgen niet alleen voor de samenhang van het geheel na het persen, maar dienen ook om de stroming tijdens het persen homogeen te doen verlopen. In figuur 7 is het werkingsprincipe van het spuitgieten weergegeven.



Figuur 7. Principe van het spuitgietproces.

Ondanks dat beide methoden goed tot serieproductie op te schalen zijn en relatief ingewikkelde vormen toelaten, vormen de niet keramische componenten in de structuur een probleem. Men verwijdert deze door uitstoken, doch daar waar een polymeer heeft gezeten blijft een porie over. Het bereiken van een volledige dichtheid is dan alleen mogelijk door bij zeer hoge temperatuur te sinteren. Anderszins kan op deze wijze een hoog-poreuze structuur verkregen worden indien dit juist gewenst is. In de katalysator-technologie en filter-technologie worden of zullen dergelijke materialen op grote schaal toegepast gaan worden. Bij katalysatoren als drager voor het katalytisch actieve element en in de filter-technologie als drager van het membraan. In figuur 8 is het extruderen van een poreuze keramische buis weergegeven.

## Koud uniaxiaal en isostatisch persen

Anders dan bij slibgieten, waar men van verdunde systemen uitgaat, past men hier droge dispersies toe. Bij het persen dient men het poeder zodanige rheologische eigenschappen te geven dat de interne wrijving tussen de deeltjes onderling en die met de matrijs de vorming van een homogene stapelingsstructuur niet belemmert. Dit begint al met de vulling van de matrijs. Naarmate de deeltjes kleiner worden, loopt het poeder steeds moeilijker en is de vulling van een matrijs steeds slechter. Uitoefening van

een mechanische druk zal hierin geen verbetering geven doordat de wrijving zowel intern als extern alleen maar hoger wordt. Een oplossing is om de deeltjes zwak te agglomereren, zodat de loopeigenschappen worden bepaald door de agglomeraatgrootte; deze worden verpulverd tijdens het uitvoeren van een druk. Deze zwakke agglomeraten maakt men door de zogenaamde sproei-droog techniek. De interne wrijving kan men voorts reduceren door toevoeging van organische smeermiddelen. In figuur 9 is het werkingsprincipe van uniaxiaal persen weergegeven.

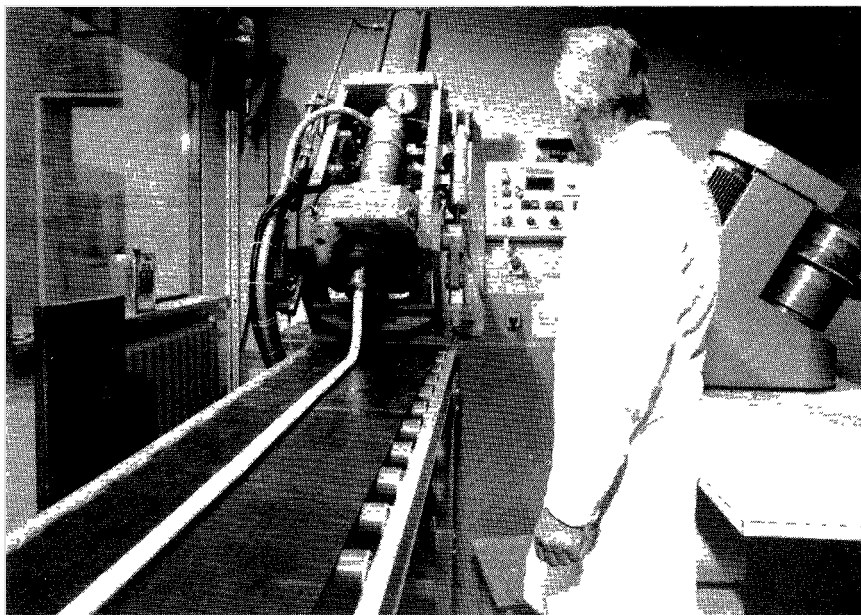
Een mogelijkheid om de wrijving met de matrijs uit te sluiten krijgt men door isostatisch te persen. Hierbij gaat men uit van een eventueel zwak geagglomereerd poeder, dat men in een flexibele kunststofhouder met de gewenste geometrie brengt. Aan dit poeder wordt doorgaans ook een bindmiddel toegevoegd. Vervolgens legt men een externe hydrostatische druk aan tot enkele kilobars waardoor het geheel zich isotroop kan verdichten. Een homogene stapeling van deeltjes is hiervan het gevolg. Nadat het verkregen lichaam licht is gesinterd, waarbij de deeltjes zwak met elkaar verbonden worden, kan men het nog op een eenvoudige wijze bewerken. Tijdens het sinteren, eventueel gevolgd door nabewerking, krijgt het daarna zijn structuur en uiteindelijke vorm. In figuur 10 is het werkingsprincipe van koud isostatisch persen weergegeven.

## Heet uniaxiaal en isostatisch persen

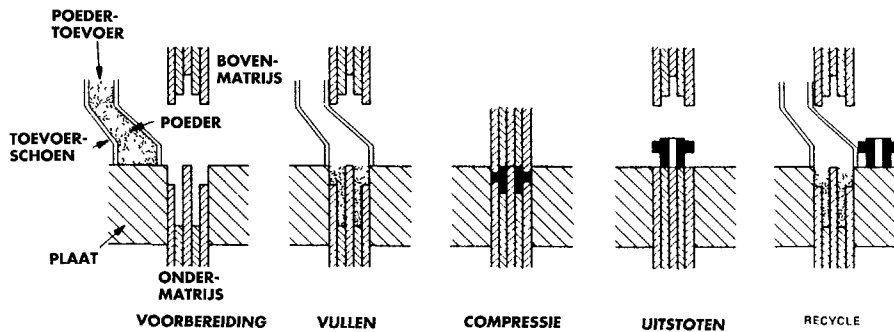
Deze technieken vormen een hoofdstuk apart. Ze zijn bij uitstek geschikt om keramiek te maken uit poeders die zich moeilijk laten sinteren zoals de covalente materialen. Het aanbrengen van een druk verhoogt weliswaar niet de inwendige diffusie, maar wel de drijvende kracht.

Op twee manieren kan men deze pers-techniek toepassen. Allereerst kunnen op deze wijze de vormgevings- en de sinterstap gecombineerd worden. Men gaat uit van een poeder en oefent daarop een druk uit, terwijl de temperatuur opgevoerd wordt. In figuur 11 is het werkingsprincipe van heet uniaxiaal persen weergegeven.

Daarnaast kan men deze methode toepassen om reeds gemaakte vormstukken van hun inwendige defecten en poriën te ontdoen en aldus de mechanische betrouwbaarheid te verhogen.



Figuur 8. Het extruderen van keramische buizen met een extrusiepers.



Figuur 9. Werkingsprincipe van uniaxiaal persen.

Bij heet uniaxiaal persen werkt men met grafietstempels terwijl men bij heet isostatisch persen een gasdruk aanlegt. Bij dit laatste vormt de gasdichte afsluiting van de buitenkant van het vormstuk een groot probleem. Heeft men daarentegen "een zekere dichte restporositeit" dan kan men deze methode direct, dus zonder gasdichte flexibele omhulling, toepassen om na voorsinteren de nog resterende defecten en poriën te verwijderen. Men noemt dit "nahippen".

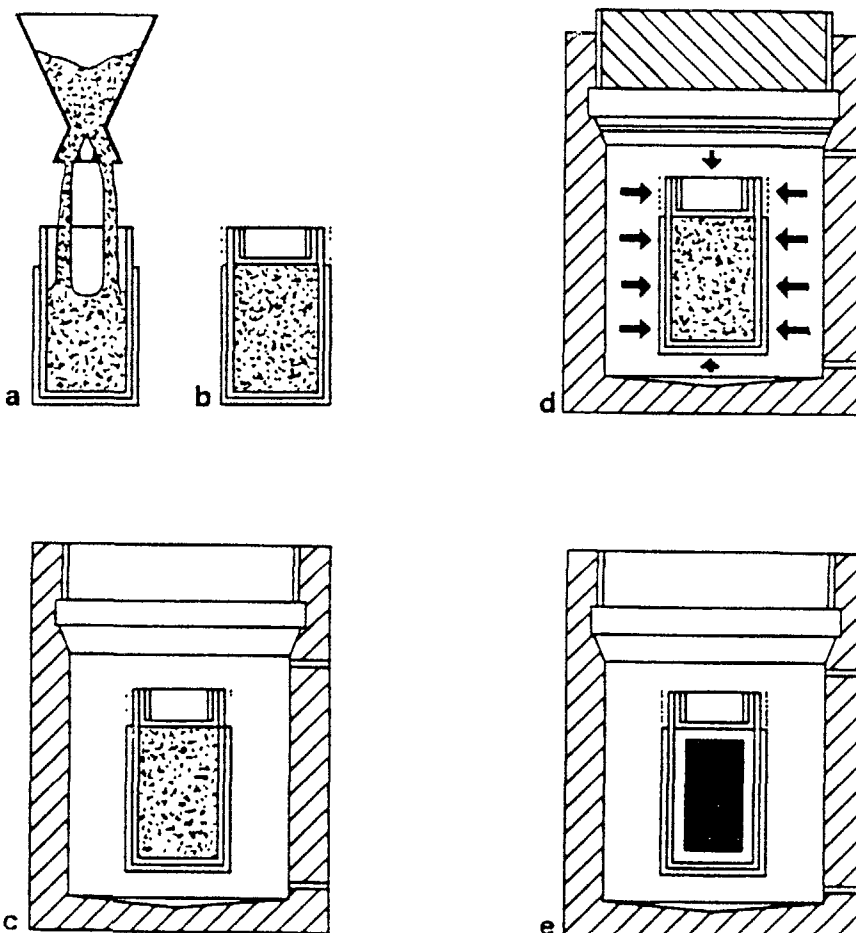
### Sinteren van technische keramiek

In de laatste fase van fabricage van keramische materialen wordt het vormstuk op een hoge temperatuur gebracht, gedurende welke in het materiaal processen optreden waardoor het de eigenschappen verkrijgt die voor keramiek zo karakteristiek zijn. In de aardewerkindustrie of de pottenbakkerij noemt men dit proces branden of bakken. In de wereld van de technische keramiek spreekt men van sinteren, terwijl branden gebruikt wordt voor het uitstoken van vluchtige organische toevoegingen.

Door sinteren kan men in principe een materiaal verkrijgen met grote sterkte en hardheid als gevolg van veranderingen in de microstructuur die bij deze hoge temperatuur,  $T > 1200^{\circ}\text{C}$ , plaatsvinden. Als echter de kwaliteit van het uitgangspunt en het sinterproces in onvoldoende mate worden beheerst, kunnen deze structuurveranderingen resulteren in defecten die nadelig uitwerken op de betrouwbaarheid en dus de kwaliteit van het uiteindelijke product.

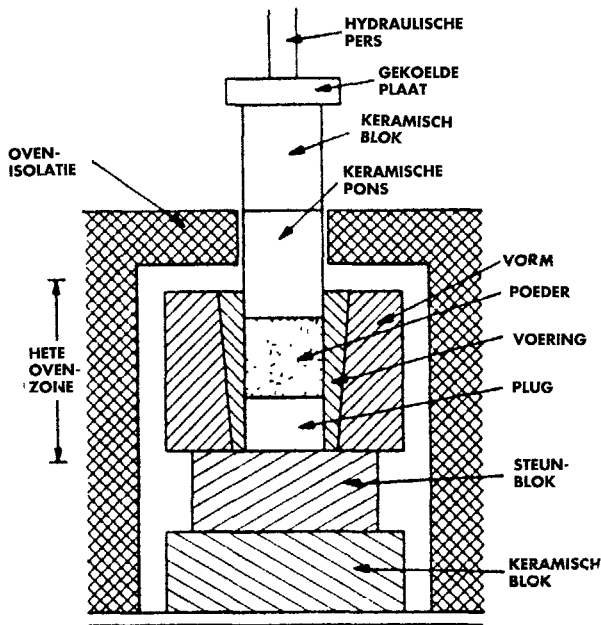
Het uitgangspunt voor sinteren (het groene keramische product) is een stapeling van fijnkorrelig keramisch poeder met organische bindmiddelen. Het groene product, eventueel na branden van de matrix, bezit een zekere porositeit en een relatief groot inwendig oppervlak (tussen 10 en  $600 \text{ m}^2/\text{g}$ ). Door sinteren bereikt men een drastische reductie van dit inwendig oppervlak, hetgeen samen gaat met een verandering in de poriegrootteverdeling en vaak in een afname van het totale porievolume

Dit laatste is van belang wil men een sterk en betrouwbaar materiaal hebben. Daar waar de poederdeeltjes oorspronkelijk elkaar raakten, blijft nog een korrelgrens over. Een verdere, doch ongewenste, energieverlaging ontstaat dan



Figuur 10. Het principe van koud isostatisch persen:  
 a. het vullen van de kunststofmatrijs met poeder,  
 b. de gesloten matrijs,  
 c. de matrijs is een drukvat met water,  
 d. het persen van de flexibele matrijs met poeder,  
 e. het gecompriëerde produkt in de matrijs na het persen.

Technische keramiek (2)



Figuur 11. Principe van heet uniaxiaal persen.

Als de deeltjes elkaar slechts raken, is transport door oppervlakediffusie het grootst. De transportafstand is ruwweg de deeltjesgrootte, terwijl de drijvende kracht hiermee omgekeerd evenredig is. Een fijner poeder maakt het materiaal dus meer sinteractief. Naarmate het proces vordert, dient bulkdiffusie de overhand te nemen, waardoor de restporositeit kan verdwijnen. De transportlengte is dan de afstand tussen een porië en een korrelgrens en hoeft nog maar een fractie van de deeltjesgrootte te bedragen zolang korrelgroei nog niet plaatsvindt. Is dit wel zo, dan zal de porositeit niet meer verdwijnen.

In figuur 13 wordt een relatief dichte stapeling van een keramisch poeder getoond voordat het een warmtebehandeling heeft ondergaan.

Figuur 14 laat de structuren zien van een dichtgesinterd fijnkorrelig  $Al_2O_3$  keramiek (A) met daarbij die van een hoog gesinterd materiaal waarin discontinue korrelgroei heeft plaatsgevonden (B). In dit laatste materiaal bevond zich geen  $MgO$  als korrelgroeiremmers. Het uitoefenen van een externe druk bij het sinteren levert een drijvende kracht voor de krimp van de poriën, zonder dat korrelgroei gestimuleerd wordt. Hierdoor is het dan mogelijk om het reeds genoemde optimum wel te halen. Sinteren in niet-oxydische systemen is lastiger. Men kan dit bevorderen door de transportlengte te reduceren en de drijvende kracht te verhogen. Verkleinen van de deeltjesgrootte is een mogelijkheid, maar erg kostbaar. Aanbrengen van een externe druk bevordert de sinteractiviteit aanzienlijk. Andere wegen, gebruik makend van in-situ reacties, zijn reeds besproken.

**Bijzondere oxydische materialen**

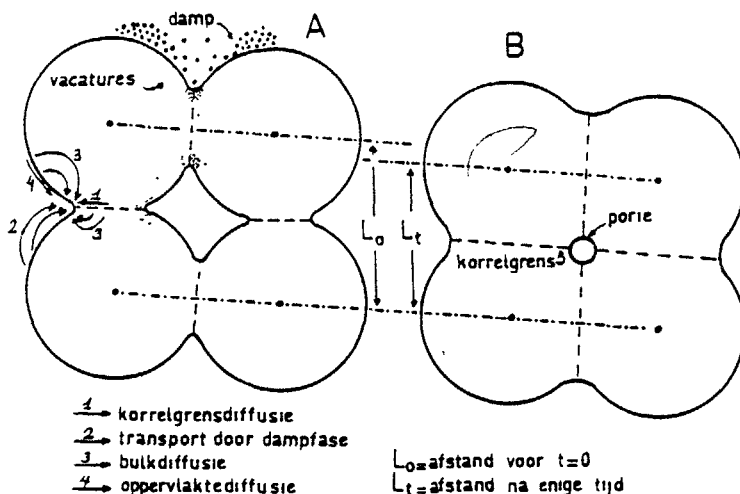
Wat betreft de structurele keramiek staan twee typen van materialen in de aandacht. Een daarvan is het vertaalde materiaal. Dat is een materiaal op basis van tetragonaal  $ZrO_2$  in zuivere vorm of als fijne deeltjes gedispergeerd in  $Al_2O_3$ .  $ZrO_2$  is in principe tetragonaal boven  $1170\text{ }^\circ\text{C}$ , doch een groot inwendig oppervlak of mechanische spanning kan deze stof zijn tetragonale structuur ook tot bij kamertemperatuur doen behouden. De beperking van de vorm- en volumeverandering, die optreedt als het opgenomen is in een  $Al_2O_3$ -matrix of deel uitmaakt van een inwendig dichte fijnkorrelige  $ZrO_2$ -structuur, vormt een bij-

doordat door korrelgroei ook het totale korrelgrensooppervlak vermindert. In principe wil men dus dat de poriën zijn verdwenen zonder dat korrelgroei optreedt. Op deze wijze zouden de mechanische eigenschappen een optimum bezitten.

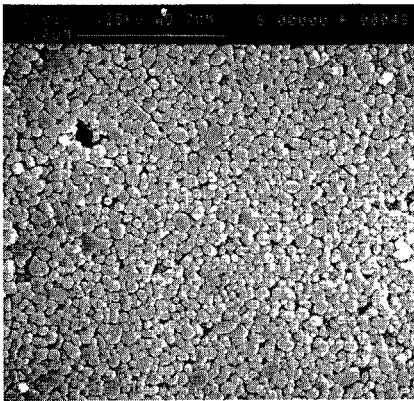
De praktijk is echter dat poriereductie en korrelgroei elkaar in de tijd overlappen, en zelfs dat microporiën remmend werken op de korrelgroei. Wil men dus opti-

male mechanische eigenschappen, dan is het aangaan van compromissen onvermijdelijk. Wel kan men door toevoeging van bijvoorbeeld  $MgO$  in  $Al_2O_3$  korrelgroei onderdrukken zodat de poriën kunnen verdwijnen. De kruipeigenschappen bij hoge temperatuur kunnen dan wel nadelig beïnvloed worden.

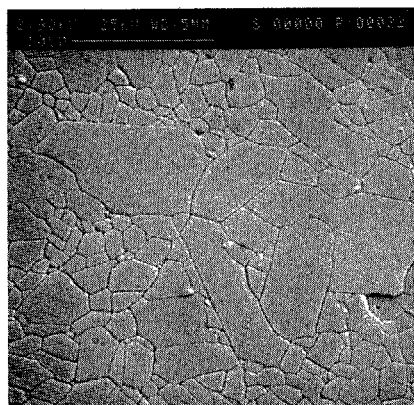
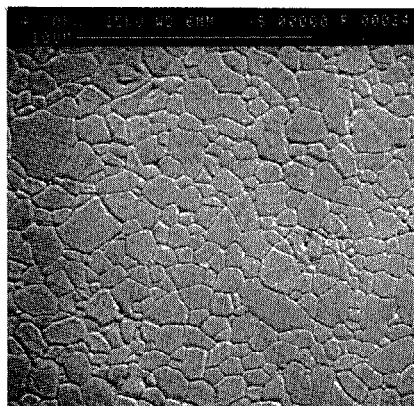
In figuur 12 is schematisch weergegeven hoe het sinteren verloopt in een oxydisch systeem, dus waar inwendig materiaaltransport groot kan zijn



Figuur 12. Mogelijke mechanismen waardoor sinteren kan optreden, met de daarbij behorende procesbepalende diffusie.



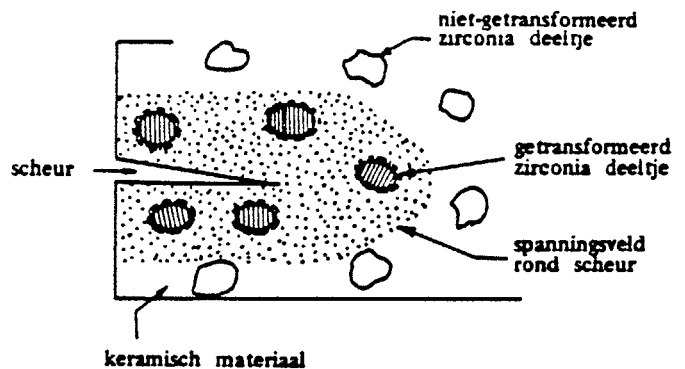
Figuur 13. Microstructuur van een groen keramisch vormstuk.



Figuur 14. Microstructuur van  $\text{Al}_2\text{O}_3$  slibgegoten en gesinterd bij:  
A. 1500 °C gedurende 4 uur,  
B. 1600 °C gedurende 2 uur.

drage aan de stabilisatie. Een scheur creëert een spanningsconcentratieveld in zijn omgeving en kan het  $\text{ZrO}_2$  dan doen transformeren naar de lage-temperatuurstructuur (monoklien). Door de nu

Figuur 15. De spanningsgeïnduceerde transformatie van tetragonaal  $\text{ZrO}_2$  in een  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -matrix.



mogelijke transformatie wordt vrije energie gedissipeerd en ontstaan er door expansie van de getransformeerde deeltjes gunstige drukspanningen rond de scheur. Dit manifesteert zich naar buiten toe als toegenomen taaiheid. In figuur 15 is de transformatie schematisch weergegeven.

Een ander materiaal dat, wat betreft optimalisatiemogelijkheden van de mechanische eigenschappen aandacht verdient, is de SiC whisker-versterkte of vertailde keramiek. Sterkte wordt hierbij bewerkstelligd door de vezels en interne energiedissipatie door de interactie vezel-matrix met overigens behoud van de bulkeigenschappen van de matrix, zoals bijvoorbeeld slijtvastheid. Een probleem is voornamelijk de onzekerheid ten aanzien van de maximaal haalbare sterkte en taaiheid en niet in de laatste plaats de verwerkbaarheid als gevolg van de gezondheidsrisico's bij het werken SiC-whiskers.

## Bewerken van technische keramiek

### Bewerking in de groene/witte fase

De term groene bewerking heeft betrekking op de bewerking van een keramische component vóór de uiteindelijke verdichting, het sinteren. Het kan gebeuren direct na de vormgeving. Bewerking is dan alleen mogelijk als het om een product gaat dat een voldoende grote hoeveelheid bindmiddel bevat. Is dit niet het geval dan zal het vormstuk door de erop uitgeoefende krachten meteen bezwijken.

Ook kan het product eerst voorgesinterd worden. Het product wordt dan enige

tijd op een temperatuur van enkele honderden graden onder de sintertemperatuur gehouden. Hierbij vindt dan nog geen verdichting plaats, maar wel enige nekvorming (zie figuur 12, links) tussen de deeltjes. Afhankelijk van de gekozen temperatuur zal de stevigheid van het product daarna voldoende zijn om het te kunnen bewerken. In dit stadium wordt ook wel van het witte product en van witte bewerking gesproken.

Het aantrekkelijke van groen bewerken is het feit dat het materiaal veel zachter is dan het keramiek in zijn uiteindelijke verdichte vorm. Dit betekent dat niet noodzakelijk diamantgereedschap gebruikt hoeft te worden en dat de afname-snelheid veel hoger kan zijn. Nadeel is dat het product nog kwetsbaar is. Er moet dan ook zeer voorzichtig te werk gegaan worden bij het in- of opspannen van zulke producten en de bewerking ervan. Het onderdeel moet stijf ingespannen worden zonder spanningsconcentraties, eventueel met behulp van was of een harssoort.

Door groen of wit bewerken kan een product op alle wijzen bewerkt worden en van alle vormen voorzien worden. De naderhand optredende sinterkrimping is nog steeds niet volledig voorspelbaar en reproduceerbaar. Voor precisieonderdelen is er daardoor geen alternatief voor nabewerken na het sinteren.

### Nabewerken in de gesinterde fase

Onder nabewerken van keramiek wordt verstaan de bewerking van een gesinterde component. Dit nabewerken is een kostbare zaak vanwege de hardheid en het brosse gedrag van keramiek. Hierdoor is de afname-snelheid laag en duurt het nabewerken lang.

## Technische keramiek (2)

Keramiek, met uitzondering van BN en sommige glaskeramieken, laat zich niet met dezelfde gereedschappen bewerken als metaal. Het gereedschap moet in het algemeen harder zijn dan het te bewerken materiaal. Bovendien mag de materiaalafname niet gepaard gaan met grote spanningen. Door het gebrek aan ductiliteit en het onvermijdelijk aanwezig zijn van defecten, leiden spanningen al snel tot hoge spanningsconcentraties en daarmee tot beschadiging/bezwijken van het produkt.

De verschillende bewerkingen kunnen onderverdeeld worden in:

- mechanische bewerkingen
  - bewerkingen met gebonden slijpmiddel (slijpen, zagen, boren),
  - bewerkingen met vrij slijpmiddel (leppen, polijsten),
  - bewerkingen met vrij "slijpmiddel" op basis van impact (ultrasoon bewerken, stralen), en
- niet-mechanische bewerkingen (chemisch, thermisch, zoals etsen, vonken, laserbewerken).

### Literatuur

- [1] J.S. Reed, Introduction to the principles of ceramic processing
- [2] D.W. Richerson, Modern Ceramic Engineering
- [3] P.J. James, Isostatic Pressing Technology
- [4] W.D. Kingery, Introduction to ceramics
- [5] R. Morrell, Handbook of properties of technical and engineering ceramics
- [6] N.A.G. Lamboo, A.J.J. Peters, Oriëntatiecursus Technische keramiek, Bedrijfsadviescentrum Hogeschool Alkmaar

De auteur P.J. van Tilborg is verbonden aan het Nationaal Keramisch Atelier, Service Unit Materialen van Energieonderzoek Centrum Nederland

## Actueel

### Jubileum Heidenhain Nederland.

Het tienjarig bestaan van Heidenhain Nederland B.V. werd op 1 en 2 juni j.l. gevierd met een persconferentie. Daartoe waren een tiental vertegenwoordigers van nederlandse technische tijdschriften uitgenodigd voor een bezoek aan het moederbedrijf dr. Johannes Heidenhain GmbH te Trauereut in Beieren. De firma Wilhelm Heidenhain werd in 1889 opgericht. In 1923 trad de chemicus dr. Johannes Heidenhain toe tot het bedrijf van zijn vader dat zich reeds bezighield met fotolithografie en andere grafische chemische technieken. Men fabriceerde onder andere geëste schablonen maar hield zich ook reeds bezig met de fabricage van, voor die tijd, nauwkeurige lineaalverdelingen. Het oorspronkelijke bedrijf W. Heidenhain houdt zich hedentendage, nog steeds gevestigd in Berlijn, hoofdzakelijk bezig met fabricage van "gedrukte bedradings"-panelen.

Door de algemeen directeur dr. Miller werd een kort overzicht gegeven van de ontwikkelingen in het bedrijf te Trauereut. Onder de naam dr. Johannes Heidenhain werd het thans belangrijkste bedrijf van de Heidenhain Groep in 1948 hier gevestigd. Het is gespecialiseerd in de fabricage van:

- precisie onderdelen;
- digitale elektronische lengte- en hoekmeetsystemen;
- positie-indicatoren, alsmede
- numerieke besturing voor bewerkingsmachines.

Dr. Miller ging kort in op de ontwikkeling van de technologie voor het aanbren-

van zeer fijne verdelingen; van het op loodsulfide gebaseerde Metallur proces op glas via het op chroom gebaseerde Diadur naar Aurodur op staal.

Op de meetsystemen werd nader ingegaan door dr. Hagl, leider van de technische verkoop meetsystemen, en de laatste ontwikkelingen in NC-besturingen werden besproken door dipl.ing. Akraller als leider van de technische verkoop elektronica.

Het programma werd afgerond met een rondleiding door de nieuwe fabriekshallen. In deze pas kortgeleden in gebruik genomen uitbreiding konden de montage van elektronische schakelingen worden bezichtigd alsmede de mechanische bewerkingsafdeling.

In eerstgenoemde afdeling werd reeds een flink deel van de schakelingen in "surface mounting" (op-spoor montage) uitgevoerd. De montage van deze (miniatur) componenten werd onder andere met Fuji montage machines uitgevoerd, volgens de afdelingschef met veel succes.

Reflow solderen werd uitgevoerd met C-tec machines. In de mechanische bewerkingsafdeling werden de metalen (aluminium) profielen voor de lineaire meetsystemen uit geëxtrudeerd materiaal voor diverse lengten en uitvoeringen vervaardigd alsmede de vele andere kleine metalen onderdelen bewerking met de benodigde precisie.

De zakelijke doch esthetisch zeer verzorgde uitvoering van deze nieuwe fabrieksruimten met veel licht en in lichte kleuren uitgemonteerd was een aange- name ervaring.

Het huidige produktprogramma bestaat, naast de genoemde numerieke bestu-

ringssystemen uit:

- incrementele meettasters met nauwkeurigheden van  $\pm 0,5 \mu$ ,
- diametermeetkoppen met verschillende bereiken;
- open en gesloten incrementele lengtmeetsystemen met elektronische uitlezing en elektronische interpolatie waarmee meetstappen van 0,01 tot 0,001  $\mu$ m mogelijk zijn;
- incrementele roterende impulsgevers en hoekmeetsystemen met nauwkeurigheden tot  $\pm 0,2$  hoekseconde en geïnterpoleerde meetstappen van 0,035 hoekseconde;
- code-impulsgevers.

Ook lager-interferometers voor rechtshidsmeting van freems voor verwerkingsmachines behoren tot het programma. Voorts werden ook bijzondere meetsystemen voor wetenschappelijk onderzoek gefabriceerd.

Op de lineaire en hoekmeetsystemen zal in een artikel in een van de volgende nummers van Mikroniek nader worden ingegaan.

De Heidenhain Groep heeft hedentendage vestigingen in vele landen van Europa (onder andere Engeland, Frankrijk, Italië, Zwitserland en Nederland) en heeft nederzettingen respectievelijk dochterondernemingen in de Verenigde Staten van Amerika, in Singapore, Brazilië en in Japan.

De omzet ligt op het niveau van een derde tot een half miljard mark.

Heidenhain heeft op het gebied van meetsystemen een aantal, vooral Japanse, concurrenten zoals Canon, Futaba, Mitutoyo en Sony.

M. Breuning.