



KERAMIEK

J.J. Saurwalt
P.J. van Tilborg

Gepubliceerd in Mikroniek, jaargang 45, nr. 2, pag.24-28

APRIL 2005

Precisie portaal | ZOEKEN IN DE SITE | PLAATSEN | [AD]

HOME | home

PRECISIE MATRIX

Control
Sensoren
Materialen
ICT
Mechanica
Precisie-technologie
Micro-systeem
technologie
Electronica
Chemische technologie
Optica
Fysica
Medische technologie
Bewerken
Management

VRAAG EN AANBOD

MAILINGLIST

LINKS

LITERATUUR

IOP

Nieuws | meer plaats | Evenementen | meer plaats

Sinds mei 2004 heeft de NVPT een nieuwe website genaamd het Precisie Portaal. Om u een overzicht te geven van de inhoud van deze website, worden er in deze terugkerende rubriek interessante publicaties besproken.

Het onderwerp dat ditmaal wordt belicht is keramiek. Dit gebeurt aan de hand van de artikelen Eigenschappen, fabricage en toepassingen van technische keramiek, geschreven door P.J. van Tilborg en J.J. Saurwalt, werkzaam bij Energie Onderzoekscentrum Nederland.

Jeroen Heijmans, Redactielid van het Precisie Portaal

Het Precisie Portaal bevat een database genaamd de 'precisie matrix'. Deze database omvat artikelen en andere informatie gerangschikt op 14 disciplines. Hieronder bevinden zich 40 jaargangen van interessante Mikroniek-artikelen. Een van deze interessante onderwerpen was keramiek. Een in de belangstelling en in de markt groeiende materiaalgroep. Keramiek vindt zijn toepassing in een breed scala van producten. Enkele uiteenlopende voorbeelden zijn: (lager) kogels, branderkoppen, snijgereedschap, filters, poreus-luchtlager maar ook als dragende structuur van een precisiebewerkingsmachine. De artikelen *Eigenschappen, fabricage en toepassingen van technische keramiek* gepubliceerd in Mikroniek 1992, geven in drie delen een helder overzicht. Er volgt nu een samenvatting van deze artikelen. De onderstreepte woorden kunnen als zoekterm in de website worden gebruikt waarbij interessante resultaten te vinden zijn.

Door het toepassen van keramische materialen, in het bijzonder op het gebied van hogetemperatuurwarmtewisselaars, cyclonen, turbines, dieselmotoren, pompen en kleppen kan men een 'high-tech' doorbraak verwachten. Voor deze toepassingen spelen de unieke eigenschappen van technische keramiek, zoals grote hardheid, slijtvastheid, sterkte bij hoge temperatuur, geringe soortelijke massa en corrosiebestendigheid een doorslaggevende rol. Andere eigenschappen, bijvoorbeeld elektrische, magnetische en structuurkenmerken zoals porositeit, houden echter ook grote beloften in voor het gebruik van keramiek in elektronica-componenten, membranen, filters, sensoren, nieuwe katalysatoren en prothesen. Internationaal gezien verwacht men een grote markt voor nieuwe materialen en in het bijzonder voor nieuwe keramische materialen.

Technische keramiek wordt in het algemeen gedefinieerd als een groep anorganische, niet-metallische materialen, die na vormgeving bij veelal kamertemperatuur hun materiaaleigenschappen verkrijgen door warmtebehandeling bij hoge temperatuur, meestal boven 1200 graden Celsius.

De bekendste en meest toegepaste technische keramische materialen zijn:

- Oxyden op basis van aluminium, silicium, zirkonium, titanium, beryllium en magnesium;
- Nitriden op basis van silicium, borium, titanium en aluminium;
- Carbiden op basis van silicium, borium, en titanium;
- Composieten.

Op grond van hun kristalstructuur en chemische samenstelling zijn technische keramische materialen gekenmerkt door de volgende basiseigenschappen:

- lage dichtheid;
- hoog smeltpunt;
- hoge hardheid;
- goede corrosiebestendigheid;
- grote slijtvastheid;
- grote stijfheid en compressiesterkte,
- goede kruipweerstand;
- lage thermische uitzetting;
- lage ductiliteit;
- brede variatie in thermische geleiding.

Op basis van bovengenoemde eigenschappen kunnen de volgende voor- en nadelen van technische keramiek in vergelijking met andere constructiematerialen worden genoemd.

Voordelen:

- Toepassingen bij hogere temperaturen dan die bij metalen of superlegeringen gebruikelijk zijn.
- Langere levensduur toepassingen waarbij materiaalslijtage minder optreedt.
- Lagere soortelijke massa voor toepassingen bij hogere snelheden of toerentallen in vergelijking met metalen.
- Unieke combinaties van eigenschappen zijn mogelijk, zoals bijvoorbeeld AlN met een hoge thermische en een lage elektrische geleidbaarheid.

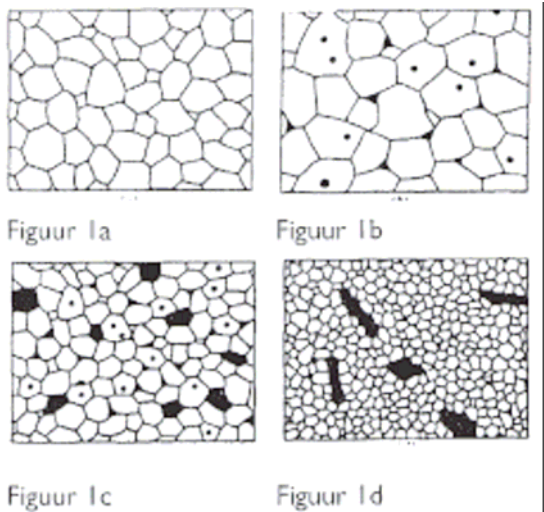
Nadelen:

- Brosheid (geringe ductiliteit), hetgeen in het algemeen leidt tot catastrofaal bezwijken.
- Statistisch gedrag van mechanische sterkte, gebaseerd op verdeling van defecten in de microstructuur en Weibull-statistiek.
- Eigenschappen en gedrag worden door defecten en onzuiverheden bepaald.
- Tijdsafhankelijke eigenschappen, zoals langzame scheurgroei en kruip, kunnen een belangrijke rol spelen
- Er zijn relatief weinig (betrouwbare) materiaalgegevens bekend; standaardisatie is noodzakelijk en er is behoefte aan databanken.

Kijken we naar aspecten van de bovenstaande twee beschrijvingen die specifiek verband houden met de keramische procestechnologie, dan kunnen we direct al op basis van het overwegend ionogene of covalente karakter van de bindingsstructuur een aantal uitspraken doen ten aanzien van de te volgen fabricageroute.

Willen we met behulp van een poeder komen tot een dicht en/of sterk materiaal, dan zal tijdens een warmtebehandeling op microschaal een zodanig inwendig transport moeten plaatsvinden, dat de poederdeeltjes versmelten en de resterende holten gedicht kunnen worden. Het feit dat in een ionogeen materiaal de verschillende deeltjes elkaar wel aantrekken maar dat deze werking niet specifiek of gericht is, maakt dat de zelfdiffusie aanzienlijk kan zijn. Dit in tegenstelling tot covalent materiaal, waar transport de verbreking van bindingen en het herstel ervan vereist. Een covalent materiaal vereist daardoor een chemisch of mechanisch hulpmiddel. Transport door diffusie verloopt sneller wanneer de temperatuur dicht bij het smeltpunt komt te liggen. In het uiterste geval,

zoals bijvoorbeeld bij de oxydische keramiek, is het zo mogelijk om alle holtes die oorspronkelijk in het materiaal aanwezig waren te doen verdwijnen. Ook is het mogelijk om dergelijke materialen te maken met zeer uiteenlopende porositeit en poriegrootten.



Afbeelding 1 Microstructuur (korrelgrootte en porositeit):

- a) Dicht materiaal zonder poriën
- b) Poreus materiaal met kleine poriën
- c) Poreus materiaal met kleine poriën en korrels van gelijke grootte
- d) Poreus materiaal met grote poriën en korrels van gelijke grootte

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)

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. Ook kan men dikke, zij het enigszins poreuze, vormstukken maken door de keramische deeltjes in de suspensie te laten samen klonteren (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 belemmering voor de aangroei

van de scherf weggenomen. Na het sinteren blijft er echter een zekere restporositeit in het materiaal achter.

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.

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 katalysatortecnologie en filtertechnologie worden of zullen dergelijke materialen op grote schaal toegepast gaan worden.

Koud uniaxiaal en isostatisch persen

Anders dan bij slibgieten, waar men van verdunde materialen 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 structuur niet belemmerd.

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. 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.

Sinteren

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. 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 m²/g). Door sinteren bereikt men een drastische reductie van dit inwendig oppervlak, hetgeen samengaat met een verandering in de poriegrootte-verdeling en vaak in een afname van het totale porievolume.

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 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. Een 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 sinterkrimp 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 afnamesnelheid laag en duurt het nabewerken lang.

De verschillende bewerkingen kunnen onderverdeeld worden in:

- mechanische bewerkingen.
- bewerkingen met gebonden middel (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 (LIGA)etsen, vonken, laserbewerken).

Een van de meest toegepaste nabewerkingsmethode voor technische keramiek is het slijpen met diamantschijven. In vergelijking met andere bewerkingsmethoden kan hiermee met een relatief hoge afnamesnelheid een goede eindkwaliteit behaald worden.

Thermische processen gaan meestal gepaard met hoge vermogensdichtheden waardoor ongewenste veranderingen van de oppervlaktekwaliteit door smelten, stollen, scheuren en fase-overgangen kunnen plaatsvinden. Mechanisch bewerken met gedefinieerde snijkanten, zoals bij draaien en frezen, is moeilijk zo niet onmogelijk vanwege de hoge hardheid van keramische materialen. Polijsten en leppen zijn vooral geschikt als nabewerkingstechniek vanwege de geringe afnamesnelheid.

De invloed van de kwaliteit van het keramiek

Alvorens een bewerking te starten dienen de eisen ten aanzien van de nauwkeurigheden en ruwheden te worden bekeken. Bij het slijpen van keramiek is het verstandig daarbij dan ook de noodzakelijke oppervlaktebetrouwbaarheid en de microstructuur van het keramiek te betrekken. Het heeft bijvoorbeeld geen zin een contour met veel moeite uit te slijpen als de afwerking van een lasergesneden product al voldoet. Zo hoeft men bij een grof korrelig keramiek niet extra veel moeite te doen om beschadigingen (scheuren) te voorkomen, omdat enerzijds de korrelgrootte zelf al een defectstructuur voor het keramiek is, en anderzijds het slijpen vooral op het uitbreken van korrels zal berusten wat niet snel in beschadigingen groter dan het korrelniveau zal resulteren.

Daarnaast dient rekening gehouden te worden met de thermische geleidbaarheid van de verschillende soorten keramiek. De oxydische keramieken zijn in het algemeen isolatoren, terwijl nitriden en carbiden goede warmtegeleiders zijn. Belangrijke mechanische eigenschappen, die een indicatie van de "slijpbaarheid" geven, zijn hardheid gecombineerd met de scheurweerstand (K_{Ic}). Globaal gezien geeft de volgende reeks de bewerkbaarheid van moeilijk tot relatief gemakkelijk weer' composieten op basis van $A_1_2O_3$ en ZrO_2 - heet geperst Si_3N_4 - Si_2N_4 , ZrO_2 , Sialon -Sic - $A_1_2O_3$.

Slijpcondities en slijptechnieken

De soort slijpschijf en de slijpcondities staan direct in relatie met de gebruikte slijpmachine en het werkstukmateriaal. In principe wordt een compromis gezocht tussen totale slijpdruk, de slijpkracht (snededikte) per korrel, het trillingsniveau, de thermische belasting en de constantheid van het slijpproces. Om keramiek zo min mogelijk te beschadigen zijn slijpcondities nodig met een kleine snededikte per slijpkorrel. In principe kan dit worden gerealiseerd door:

- het gebruik van slijpschijven met een kleine korrelgrootte;
- het slijpen met een hoge slijpsnelheid;
- het kruipslijpen.

Kruipslijpen

Slijpen met een zeer grote snededikte gecombineerd met een langzame voeding van het werkstuk wordt kruipslijpen of diepslijpen genoemd. Hierbij ontstaat een groot contactvlak tussen schijf en werkstuk.

Problemen bij het kruipslijpen

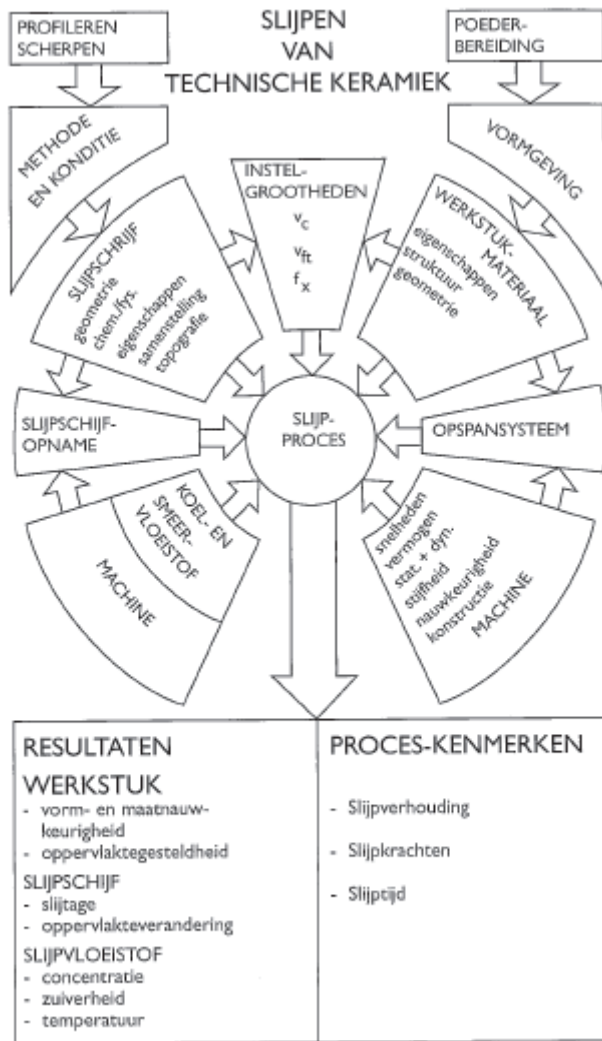
Een nadeel van deze techniek is dat de totale krachten op ongeveer een 10 maal hoger niveau liggen dan bij het pendelslijpen en daarna nog sterk toenemen. Deze hoge krachten veroorzaken grote slijpproblemen. Niet alleen buigt de slijpmachine uit, maar ontstaan ook vaak zelfexciterende trillingen, waardoor een steeds sterkere onrondheid van de slijpschijf wordt opgebouwd.

Vooraf het wel of niet optreden van deze trillingen (de dempingskarakteristiek) en de statische stijfheid zijn erg machine-afhankelijk. Uit eigen proefnemingen bleek een machine, volledig uitgevoerd met voorgespannen hydrostatische lageringen, tot nu toe het minst gevoelig voor de vorming van deze trillingen en bijbehorende onrondheid. Zelfs met niet gebalanceerde schijven bleken hiermee zeer goede slijpresultaten mogelijk.

Concluderend kan gesteld worden dat voor het slijpen van keramische materialen de slijpcondities en het slijpschijftype afgestemd dienen te worden op de eigenschappen van het te bewerken materiaal en de te gebruiken slijpmachine. Voor de opbouw van de hiervoor noodzakelijke kennis wordt bij het Energieonderzoek Centrum Nederland te Petten sinds 1986 onderzoek uitgevoerd op het gebied van het bewerken en met name het slijpen van technische keramiek. Dit onderzoek wordt gedeeltelijk in samenwerking met de TU Delft en met ondersteuning van het Innovatiegericht Onderzoekprogramma (IOP) uitgevoerd.

Mocht dit artikel uw interesse hebben gewekt bezoek dan eens de website: het Precisie Portaal. Gerelateerde onderwerpen, zoals keramische producten en bewerkingscentra, zijn te vinden op de LINKS-pagina *Materialen*.

Onder 'Opleidingen&cursussen' staat een overzicht van cursussen welke er dit jaar gegeven worden. Hieronder de cursus: *Materiaalkeuze bij het ontwerp*, georganiseerd door PATO.



Figuur 2

Hopelijk heb ik u middels dit artikel de mogelijkheden en potenties van het Precisie Portaal laten zien en uw interesse gewekt. Ter besluit wil ik u er op wijzen dat het Precisie Portaal een interactieve site is waarin u informatie kunt plaatsen. Op het Precisie Portaal weten bedrijven en technici elkaar te vinden!

Energie Onderzoekscentrum Nederland
www.ecn.nl/tsc/materials