

Saffier en robijn als modern constructiemateriaal

M.F. Dierselhuis

Buiten de kring van de huidige gebruikers van synthetisch saffier en robijn is dit materiaal nauwelijks bekend als een goed bruikbaar materiaal voor een aantal fijnmechanische constructies. De meest gekende toepassing is die als lagermateriaal in de vorm van horlogestenen. Doel van dit artikel is aan te geven, welke eigenschappen saffier en robijn bezitten, hoe de bewerking ervan plaatsvindt en kort een aantal concrete toepassingen te noemen. Mogelijk worden daardoor ideeën gegenereerd, die u kunt omzetten in nieuwe producten of deeloplossingen voor bestaande problemen. Door de grote hoeveelheid publikaties over technische keramieken is de weerstand tegen toepassing van dit "oude" saffier als nieuw materiaal verminderd, maar dreigt het tevens een beetje in de verdrukking te geraken.

Saffier en robijn worden ook wel korund genoemd. Korund is een verzamelnaam voor monokristallijne aluminiumoxyden. Door toevoegingen ontstaan verschillende kleuren. Zonder toevoegingen is het monokristal transparant en is het bekend als saffier. Door een heel kleine toevoeging van chroomoxyde wordt het materiaal rood en kennen wij het als robijn. Door bijmenging met ijzer- en titaanoxyde wordt de blauwe saffier gevormd. Daar waar wij in dit artikel over saffier spreken, worden het heldere saffier en de robijn bedoeld.

Vervaardiging van het materiaal

In de industrie wordt hoofdzakelijk synthetisch saffier toegepast, omdat dit minder verontreinigingen bevat dan het natuurkorund en door de industriële productie tevens goedkoper is. Het wordt vervaardigd met bauxiet als uitgangsmateriaal. Na reiniging met ammoniak en verhitting komt dit in partikeltjes van ca. 0,1 micrometer beschikbaar.

Een drietal methoden wordt toegepast om het saffier uit deze partikeltjes te vormen. In Japan en Amerika wordt in hoofdzaak volgens het TYCO-proces

geproduceerd, waarbij saffier vanuit een smeltproces wordt gevormd. In Europa wordt vooral de VERNEUIL-methode toegepast. Hierbij wordt een kristallisatieproces gebruikt, waardoor het meest zuivere saffier ontstaat. Deze methode is mondiaal gezien ook de belangrijkste. De opbouw van het kristal vindt plaats bij een temperatuur van ca. 2020°C, doordat een bewegende zeef de kleine partikeltjes aluminiumoxyde beheersbaar toevoert aan een smeltzone, terwijl het opgebouwde materiaal in de oven met eenzelfde snelheid daalt als de kristalaangroei plaatsvindt. Het basismateriaal krijgt hierdoor de vorm van een langgerekte peer met een diameter tot ca. 40 mm, zie figuur 1. Een derde produktiemethode (CZO-CHRALSKI-methode) wordt minder vaak toegepast.

Kenmerken

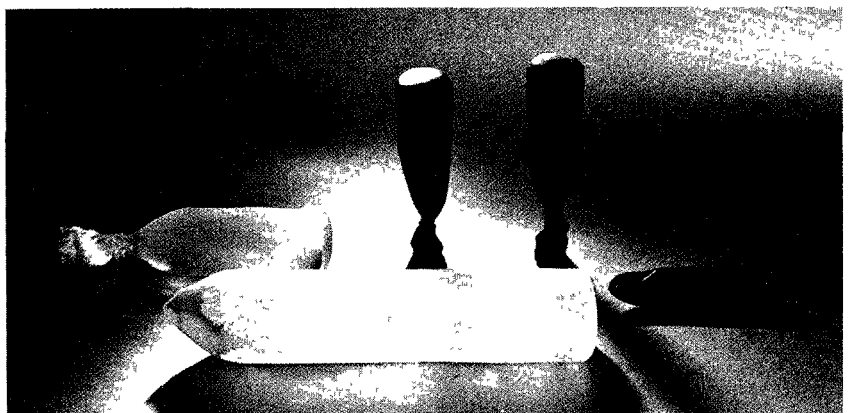
Saffier heeft als éénkristal een rombische kristalstructuur, waardoor de eigenschappen niet in alle richtingen gelijk zijn. Zowel bij de constructie als bij de vervaardiging van onderdelen kan het noodzakelijk zijn hiermee rekening te houden of deze mogelijkheid bewust te gebruiken.

Een belangrijk kenmerk van saffier is de hardheid. Met een Vickerswaarde van 25 - 30 kN/mm² komt het in de meeste gevallen boven technische keramieken uit, zie figuur 2. Daarnaast is de weer-

stand tegen druk en alle chemicaliën uitstekend te noemen. Aantasting van enige importantie vindt uitsluitend plaats met fluorwaterstof van ca. 300°C. Evenals alle andere harde en niet-poreuze materialen is saffier uitermate geschikt voor het realiseren van zeer gladde oppervlakken. Ruwheidswaarden onder R_a 0,01 zijn bij vlakken goed te realiseren, voor gaten zijn waarden tot R_a 0,015 eveneens goed haalbaar.

Vanwege de hardheid wordt saffier voor uiteenlopende toepassingen gekozen als slijvast materiaal. Daarbij kan gedacht worden aan lagers, sproeiers, geleidingen, etc.

Door het hoge smeltpunt en de hoge chemische resistentie wordt saffier vaak toegepast als venstermateriaal of als optische lens (tevens hiettschild) voor gas- en rookcontrole-apparatuur, optische temperatuurmeetapparaten, branders en sproeiers. Saffier beschikt over goede thermisch (zie figuur 3) en elektrisch isolerende eigenschappen en heeft een niet onaanzienlijke dielektrische constante, zie figuur 4. Dankzij deze beide eigenschappen en de eerder genoemde voordelen wordt saffier regelmatig toegepast als isolator en substraat voor hoogwaardige (miniatur) capacatieve microfoons en als substraat voor hoogfrequente schakelingen voor de telecommunicatie-, ruimtevaart- en zeer hoogwaardige elektronica-industrie, etc.



Figuur 1. Bij de synthetische vervaardiging van saffier en robijn volgens de Verneuil-methode krijgt het basismateriaal de vorm van een langgerekte peer.

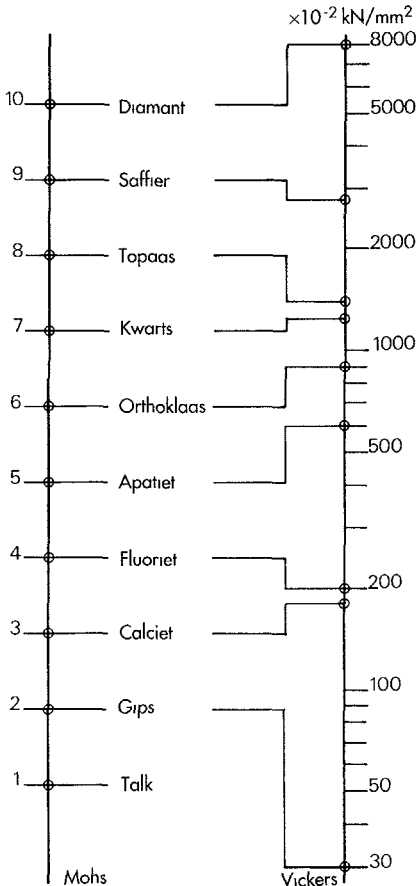
Als laatste belangrijke eigenschap noemen wij de zeer lage adhesie, waardoor saffier zeer goed te reinigen is en er nauwelijks aangroei van vreemd materiaal kan plaatsvinden
Tabel 1 geeft de kengetallen van saffier.

Mogelijkheden tot vormgeving

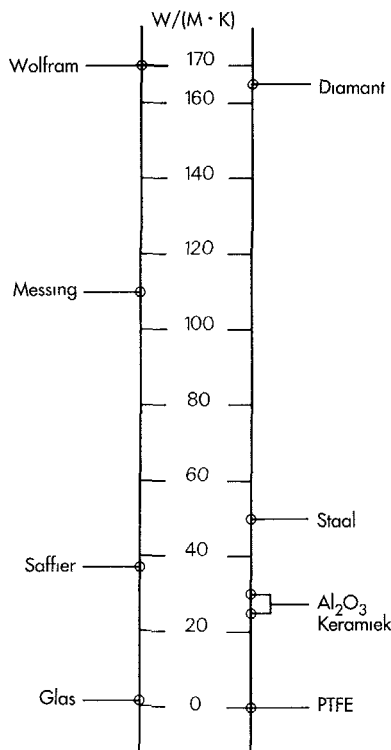
De frontpagina van deze Mikroniek laat een aantal vormen zien van onderdelen uit keramisch (dus polykristallijn) Al₂O₃, monokristallijn Al₂O₃ (saffier en robijn) en MACOR (glas). Uit de getoonde produkten blijkt al dat er zich op het gebied van het bewerken van dit soort harde materialen het laatste decennium belangrijke ontwikkelingen hebben voorgedaan. Dit geldt in niet onbelangrijke mate ook voor saffier. Een hard monokristallijn materiaal kan niet door gieten, spuitgieten, sinteren, etc. gevormd worden. Om de gewenste vorm te bereiken blijft eigenlijk maar één oplossing mogelijk. verspanend bewerken. Daarbij wordt het met diamant slijpen en polijsten het meest toegepast. Bewerkingen analoog aan zagen, boren, frezen en draaien kunnen

Tabel 1. Kengetallen van saffier bij kamertemperatuur

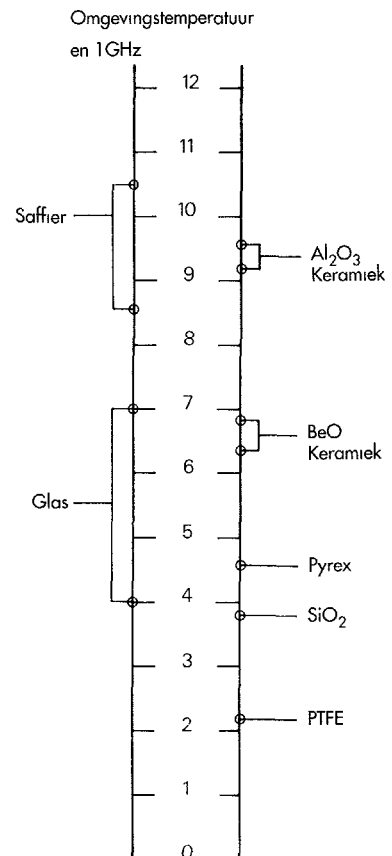
Fysische kengetallen		
dichtheid	3980	kg/m ³
hardheid HV	25-30	kN/mm ²
E-modulus (zie ook figuur 5)	400-440	kN/mm ²
druksterkte	2100	N/mm ²
treksterkte	190-260	N/mm ²
breekmodulus	400-700	N/mm ²
torsiemodulus	190	kN/mm ²
Thermische kengetallen		
smeltpunt	2050	°C
verwerkingstemperatuur	1800	°C
thermoshock	ΔT > 1000	°C in 2'-3'
soortgelijke warmte	750	J/(kg K)
warmtegeleidingscoëfficiënt	38	W/(m K)
uitzettingscoëfficiënt	5,4 · 10 ⁻⁶ /K, ⊥ C-as	
	6,2 · 10 ⁻⁶ /K, // C-as	
maximum gebruikstemperatuur	1950	°C
Optische kengetallen		
brekingsindex	1,760 ± C-as	
	1,768 // C-as	
dispersie	(n _F - n _c) 0,011	
optische doorlaatbaarheid	uitstekend voor zichtbaar licht	
Elektrische kengetallen		
soortgelijke weerstand	10 ¹⁶	Ω/cm
dielektrische constante	8,5 - 10,5	
dielektrische verliesfactor	< 0,0001	
doorslagweerstand	480	kV/cm (60 Hz)
Mechanische kengetallen		
wrijvingscoëfficiënt op staal	0,10-0,15	
slijtvastheid (kwarts 100)	2800	



Figuur 2. Hardheid; vergelijking van saffier met andere materialen.



Figuur 3. Warmtegeleidingscoëfficiënt; vergelijking van saffier met andere materialen.



Figuur 4. Dielektrische constante; vergelijking van saffier met andere materialen.

Saffier en robijn als modern constructiemateriaal

Tabel 2. Toleranties van lagerstenen

	diameter [mm]	tolerantie [μm]	
		gangbaar	haalbaar
boring	0,06 - 0,30	4	0,2
	0,30 - 3,00	6	0,3
	> 3	10	0,5
buitendiameter	< 5	6	0,2
	> 5	10	0,2
concentriciteit		3-10	0,5-1

worden uitgevoerd. De onderdelen kunnen zelfs van schroefdraad worden voorzien. Uitwendige schroefdraad levert "geen enkel probleem" op, terwijl inwendige schroefdraad lastig en dus kostbaar is.

Bedrijven met veel ervaring in het bewerken van saffier vindt men vooral in Zwitserland, Frankrijk en Zuid-Duitsland. De bewerkingsmogelijkheden van keramische materialen zijn voor een aanzienlijk deel gebaseerd op de met het bewerken van saffier opgebouwde ervaring. De grenzen van wat mogelijk is, worden daarbij nog steeds verlegd.

Voor de bewerking van saffier wordt ook de laser veelvuldig ingezet. Bij de vormgeving (meestal een voorbewerking) wordt niet alleen materiaal verdampd, maar in enkele gevallen wordt tevens bewust gebruikt gemaakt van de opgewekte schokgolf. Gladde en nauwkeurige bewerkingen zijn met de (NdYag) laser echter niet mogelijk. In een aantal gevallen worden de delen niet uit massief materiaal vervaardigd, maar door een coatingproces op een dragerdeel aangebracht. Het betreft dan zeer dunne laagjes uitermate slijt- vast materiaal.

Hoofdafmetingen en toleranties

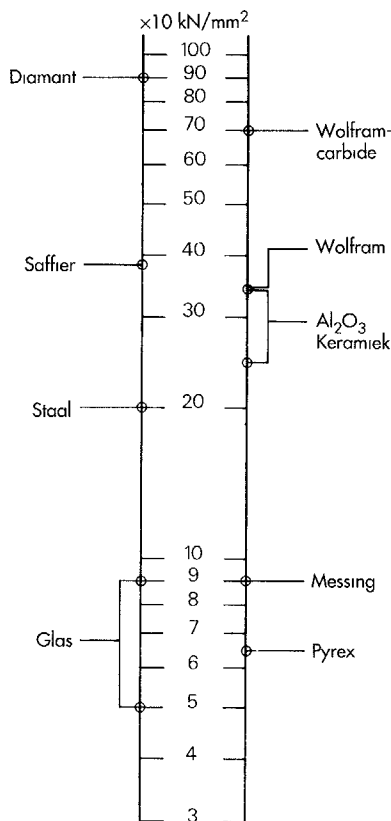
Een hard materiaal met een geringe uitzettingscoëfficiënt (ongeveer $5 \cdot 10^{-6}$ bij 25°C , zie ook figuur 6), zonder porositeit en waarbij een uitstekende oppervlaktegesteldheid bereikt kan worden, bezit alle gewenste eigenschappen om er zeer nauwkeurige onderdelen uit te kunnen vervaardigen. Als voorbeeld wordt in tabel 2 een aantal gangbare toleranties voor verschillende vormen gegeven.

Het betreft hier catalogusproducten, zoals lagerstenen, kogels, vlakke stenen, etc. De gegeven toleranties kunnen daar waar nodig tot delen van micrometers worden teruggebracht. De maximale omschreven cirkel van het product is afhankelijk van de diameter van de korund-peer. Zoals vermeld is deze voor zeer zuiver saffier ca. 40 mm bij een lengte van ca. 125 mm. Het is echter mogelijk de diameter van de peer tot ca. 80 mm op te voeren. Het basismateriaal wordt daardoor echter aanmerkelijk duurder.

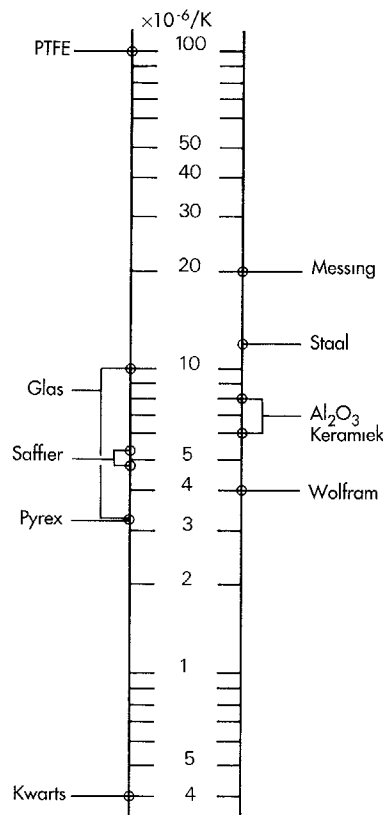
De kleinste gatdiameter is ca. 25 micrometer, terwijl het kleinste nabewerkte gat ca. 60 micrometer groot is. Daarbij kan van een met een laser voorgeschoten gat gebruik worden gemaakt. Het met de laser vervaardigde gat ziet er bij vergroting catastrofaal uit met een diameter van ca. 30 micrometer. Om een mooi nabewerkte gat te krijgen worden de (meestal stapelbare) onderdelen over een draad geregen en op deze wijze gestapeld ingegoten. Al draaiende beweegt dit samenstel van onderdelen ook in axiale richting langdurig (tot enkele weken aan toe) langs een met diamantpasta gedoteerde draad. Aangezien het abrasieve proces zeer langzaam verloopt is een hoge nauwkeurigheid mogelijk. De gaten middelen zich uit, waardoor een concentriciteits-tolerantie van 10 micrometer eenvoudig haalbaar is. Niet stapelbare onderdelen moeten afzonderlijk bewerkt worden, waardoor de prijs excessief stijgt. Sommige vormen worden nog altijd met gediamanteerd kersen hout vervaardigd volgens het principe, dat een gestage drup elke steen bewerken kan.

Toepassingsvoorbeelden

Hieronder staan een aantal voorbeelden vermeld, waarbij één of meer specifieke eigenschappen van saffier bepalend zijn geweest voor de keuze van dit materiaal. Figuur 7 toont een aantal producten.



figuur 5. Elasticiteitsmodulus; vergelijking van saffier met andere materialen.



Figuur 6. Uitzettingscoëfficiënt; vergelijking van saffier met andere materialen.

Nozzles

Saffier is uitermate geschikt als nozzle-materiaal vanwege:

- hoge slijtvastheid,
- hoge chemische resistentie,
- lage adhesie,
- grote druksterkte.

Voorbeelden van nozzles zijn die voor waterstraalsnijden, inkjetprinters, naaldgeleidingen, synthetische garens, verfspuiten, landbouwspoeiers, stoomstrijkijzers, gritstraalapparatuur, hogedrukreinigingsapparatuur, etc

Kleine nauwkeurige gaatjes

Saffier is hiervoor uitermate geschikt vanwege.

- geschiktheid tot aanmaak van kleine, eng getolereerde, gladde gaatjes,
- lage adhesie,
- hoge temperatuurrezistentie,
- hoge drukvastheid.

Toepassingsvoorbeelden zijn:

- stenen voor telapparatuur van bloedlichaampjes,
- gekalibreerde openingen voor waakvlambranders,
- toepassing als orifices,
- debietmeting en -regeling,
- uitloopsteen voor wikkelvingers,
- bonddraadgeleidingen,
- glasvezelconnectoren.

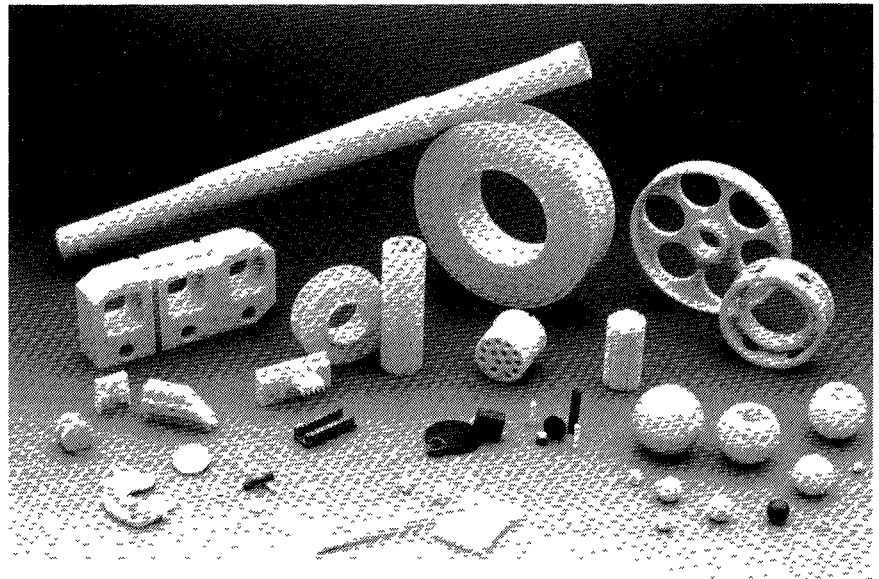
Lagers en geleidingen

Saffier is uitermate geschikt als materiaal voor lagers en geleidingen vanwege.

- hoge slijtvastheid,
- grote drukvastheid,
- hoge vormnauwkeurigheid,
- lage adhesie,
- chemische inertie,
- hoge temperatuurbestendigheid.

Toepassingsvoorbeelden zijn.

- taatslager voor de as van een generatie videomotoren,
- lagering van de actuator van specifieke compactdisc-apparatuur,
- geleiding van naalden voor matrix-



Figuur 7. Producten vervaardigd uit synthetisch korund.

- printers,
- conusstenen voor de taatslagering van meetinstrumenten met analoge aflezing, alsook voor water- en stroommeters,
- geleidingen voor draadvonkmachines,
- geleiding van textielvezels,
- geleiding van chroomoxyde-tape,
- slijtagelaag voor magneetkoppen,
- preparaatlagering elektronenmicroscoop.

Diversen

Saffier is uitermate geschikt voor diverse andere toepassingen, zoals:

- plunjers voor hogedruk pompen (ook HPLC),
- miniventielen voor abrasieve media, chemicaliën, lichaamsvocht, etc ,
- optische vensters voor ovens, meetapparatuur, horloges,
- optische componenten onder bijzondere omstandigheden,
- kalibers en meettasters,
- elektrische isolatoren (o.a pacemakers),

- substraatmateriaal voor hoogwaardige elektronische schakelingen,
- chirurgische instrumenten,
- slijtvaste kogels,
- afdichtlichaam voor precisie-ventielen (de vlakheid van de saffier wordt bij iedere sluiting gekopieerd op het afdichtelement).

De bovenstaande indicatieve opsomming geeft een beeld van de brede toepassingsmogelijkheden van saffier. Aangezien het hier in alle gevallen om succesvolle concrete producten gaat, blijkt dat de prijsstelling veelal veel gunstiger is dan men op grond van het materiaal en de moeilijke bewerkbaarheid daarvan zou verwachten.

Het is vanzelfsprekend van groot belang dat de producten met een brede kennis van de vervaardiging, verwerkingsmogelijkheden en eigenschappen van het materiaal worden ontworpen.

Op een aantal plaatsen is in Nederland kennis beschikbaar. Indien men de toepassing van saffier of robijn in een concreet product overweegt, is het dan ook zeer zinvol van deze kennis gebruik te maken. Gezien de tendens tot grotere nauwkeurigheid, hogere betrouwbaarheid en miniaturisatie zal de toepassing van saffier nog sterk kunnen groeien.

