

Selectiecriteria voor glas en keramiek in constructies

Ing. J.C.G. Vervest

De beschikbaarheid van vele glas- en keramieksoorten, met daarnaast de moderne bewerkingstechnieken, biedt constructeurs en andere technici de mogelijkheid de specifieke materiaalmerken te benutten in de meest uiteenlopende toepassingen.

Wanneer constructeurs in de ontwerpfase overwegen glas of keramiek toe te passen, worden ze vaak geremd door een beperkte kennis van deze materialen en de diverse bewerkingstechnieken, waardoor kwalitatief betere oplossingen onbenut blijven.

Glas en keramiek bezitten namelijk een aantal unieke eigenschappen, die zoveel afwijken van de tot nu toe gebruikte constructiematerialen, dat een veel breder toepassingsgebied mogelijk moet zijn dan nu het geval is.

Bewerkingstechnieken van glas en keramiek.

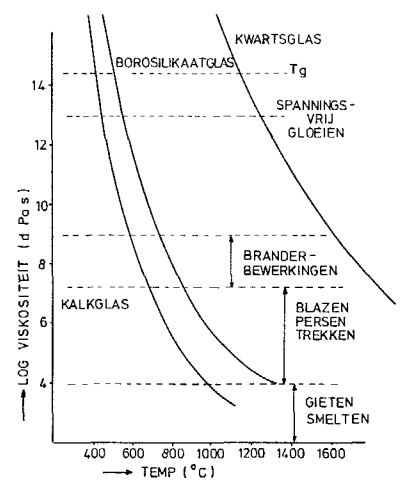
Glas kan zowel warm, hierbij wordt het glas verhit tot het in de plastische fase komt, als koud bewerkt worden. Met koudbewerken bedoelen we onder andere het zagen, boren, slijpen en polijsten. Anders dan bij vele industriële vormgevingsprocessen binnen de basis-glasindustrie, waarbij direct vanuit de glasmelt wordt gewerkt richting eindproduct, moet bij het oplossen van vragen uit de diverse technische vakgebieden vaak worden uitgegaan van het samenstellen en/of nabewerken van halffabrikaten. Er kan een keuze gemaakt worden uit buis-, staaf-, plaat- en blok materiaal van uiteenlopende glassoorten. Naast het persen of gieten van gereede producten kan men bij keramiek voor de nabewerkingen in grote lijnen twee bewerkingsstadia onderscheiden, namelijk de "groene" en de "witte" fase. In de "groene" fase is het werkstuk enkel voorgesinterd, waardoor het keramiek relatief gemakkelijk en snel na te bewerken is.

Een nadeel hierbij kan zijn dat de vorm- en plaatstoleranties niet opti-

maal zijn omdat bij het nasinterproces een grote krimp optreedt. Nabewerkingen in de "witte" fase – het materiaal heeft dan reeds de specifieke eigenschappen als hardheid en sterkte – leveren reproduceerbaar maat- en vormvaste produkten op. Nadelen hiervan zijn de relatief lange bewerkingstijden en beperkte verkrijgbaarheid van halffabrikaten.

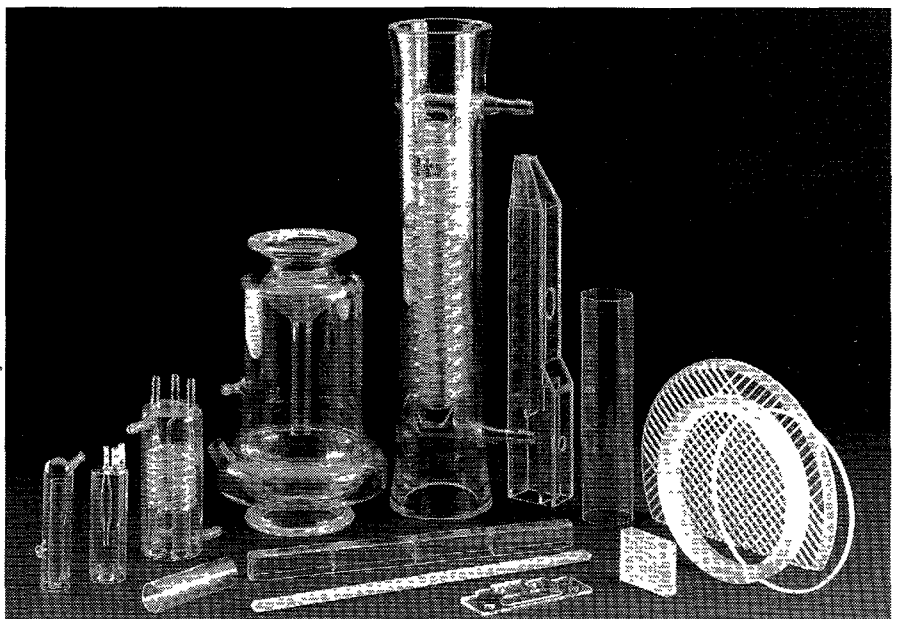
Voor de thermische bewerkbaarheid – dit is de viscositeit van het glas bij een bepaalde temperatuur – van de verschillende glazen kan men in grote lijnen de viscositeit als functie van de temperatuur aanhouden zoals weergegeven in figuur 1.

Daarnaast bestaat in het algemeen een zekere relatie tussen de thermische bewerkbaarheid en de uitzettingscoëfficiënt. Als regel geldt dat "zachte" glazen veelal een hogere uitzettingscoëfficiënt hebben dan "harde" glazen. "Lange" glazen zijn over een groter temperatuurbereik plastisch vervormbaar dan "korte" glazen. Hierbij dient opgemerkt te worden, dat "zachte" glazen zich niet altijd als een "lang" glas gedragen of andersom. De koudglasbewerkingen van glas en



Figuur 1 Verband tussen viscositeit en temperatuur voor een aantal glazen

keramiek zijn in principe alle terug te voeren tot slijpbewerkingen waarbij de mechanische bewerkbaarheid gekoppeld is aan de hardheid, zoals weergegeven in tabel 1. Hoe harder een materiaal is, hoe moeilijker te bewerken, c.q. hoe geringer de afnamesnelheid bij een slijpbewerking. Binnen een keramieksoort speelt ook de structuur, die wordt



Glazen produkten fascineren altijd, ook als ze een technisch doel hebben

bepaald door de korrelgrootte, pers- of giettechniek en het sinterproces, nog een dominante rol bij de bewerkbaarheid. De breukgevoeligheid van glas en keramiek wordt vooral bepaald door de thermische uitzetting in combinatie met de oppervlakteruwheid en de uitgeoefende krachten op het werkstuk. Glas en keramiek laten zich echter met de daarvoor geeignige bewerkingstechnieken reproduceerbaar en zeer precies bewerken. Voor zowel glas als keramiek zijn de functie en geometrie van het gewenste product veelal bepalend voor de te volgen vervaardigingsmethodiek.

		Mohs	Knoop
Grafiët	C	1	10
Boriumnitride	BN	2	25
Calciumfluoride	CaF ₂	4	163
BK7		6	520
Kwartsglas	SiO ₂	7	670
Silicium	Si	7,5	1000
Zirkoonoxyde	ZrO ₂	8	1600
Siliciumnitride	Si ₃ N ₄	8,5	1700
Aluminiumoxyde	Al ₂ O ₃	9	2300
Siliciumcarbide	SiSiC	9,5	2800
Diamant	C	10	7000

Tabel 1 Mechanische hardheid van een aantal materialen

Materialiseisen ten aanzien van de toepassing

Voor een optimale toepassing van glas en/of keramiek zijn respectievelijke de thermische en mechanische bewerkbaarheid van beide materialen maar één element van de selectie-matrix.

De kwaliteit van het keuzeproces kan in belangrijk mate verhoogd worden door verscheidene intrinsieke eigenschappen van de diverse glazen en keramieken bij de keuze mee te laten wegen, zoals brekingsindex, mechanische sterkte, isolatiewaarde, corrosiebestendigheid, chemische zuiverheid, warmtegeleiding, gebruikstemperatuur en temperatuurwisselvastheid. Deze eigenschappen worden in het algemeen bepaald door de chemische samenstelling van het glas of keramiek.

Naast een aantal glasvormende oxyden zoals B₂O₃, SiO₂, P₂O₅, As₂O₃ en GeO₂ kennen we ook een aantal modificeerders, namelijk Na₂O, K₂O, CaO, MgO en Al₂O₃; door combinatie van beide kan een zeer breed scala van glazen gevormd worden.

In het SiO₂-systeem (kwartsglas) is on-

der meer het OH-gehalte bepalend voor de verwerkingstemperatuur. Dit is een zeer belangrijk gegeven voor toepassingen in de halfgeleidertechnologie, want 3 tot 200 ppm OH maakt al snel een verschil in maximum gebruikstemperatuur uit van 50°C of meer.

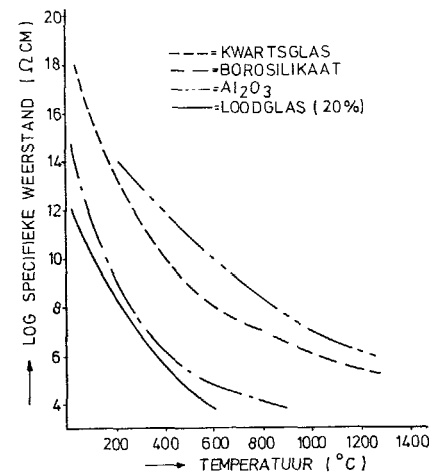
Bij boraatglazen (B₂O₃-systemen) is variatie in de hoeveelheid SiO₂ en Al₂O₃ een mogelijkheid om het visceusgedrag te beïnvloeden. Voor Na₂O-SiO₂-systemen is het K₂O- en/of PbO-gehalte bepalend voor de viscositeit als functie van de temperatuur. Dit laatste is vooral van belang bij soldeerglazen die het mogelijk maken om bij relatief lage temperaturen glas, keramiek en metaal met elkaar te verbinden.

Van de technische keramieken is Al₂O₃ wel het meest bekend, hoewel de laatste jaren de belangstelling voor andere keramieksoorten zoals ZrO₂, SiC en Si₃N₄ snel toeneemt. Elk van deze soorten heeft specifieke eigenschappen die hem meer of minder geschikt maakt voor brede toepassingsgebieden. Naast een zeer hoge gebruikstemperatuur (tot 2000 °C) zijn de goede corrosiebestendigheid en slijtvastheid karakteristieke eigenschappen van keramiek.

Elektrische eigenschappen

Bij elektronische componenten, bijvoorbeeld televisiebuizen, lampen, halfgeleiders, waarin veelvuldig glas en keramiek toepassing vinden, is de isolatiewaarde of soortelijke weerstand kenmerkend voor een bepaalde materiaalkeuze

In figuur 2 is de soortelijke weerstand gegeven als functie van de temperatuur voor een viertal veel toegepaste mate-



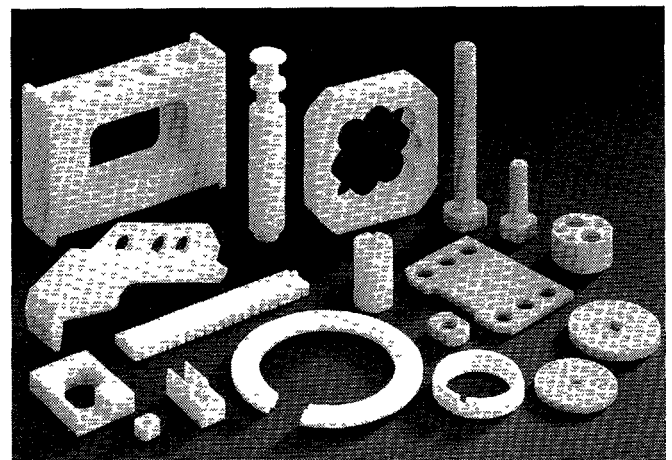
Figuur 2 Verband tussen soortelijke weerstand en temperatuur voor enkele materialen

rialen. Hieruit volgt duidelijk dat Al₂O₃, en in iets mindere mate kwartsglas, superieure elektrische isolatiewaarden hebben ten opzichte van borosilicaatglas en loodglas.

Het stroomtransport in glazen is in hoofdzaak het gevolg van de beweeglijkheid van ionen (ladingdragers). De hoeveelheid alkali-ionen, zoals Na⁺ en Li⁺, in de glassamenstelling zijn bepalend voor de soortelijke weerstand. Bij hogere temperatuur neemt deze weerstand sterk af omdat dan de beweeglijkheid van ionen in de glasstructuur groter wordt.

Van dit gegeven maakt men onder andere gebruik bij het elektrisch versmelten van glazen. Bij het lassen van glazen onderdelen volgens deze techniek worden de te verbinden onderdelen ter plaatse op conventionele wijze verwarmd om vervolgens met behulp van elektroden een hoge stroom door de

Deze foto geeft een goed beeld van de gecompliceerde vormgeving die tegenwoordig in keramiek is te realiseren



Selectiecriteria voor glas en keramiek in constructies

laszone te sturen. Hierdoor verkrijgt men op efficiënte wijze een zeer plaat-selijke versmelting.

Verder kan door variatie in de afkoel-snelheid de soortelijke weerstand ook nog enigszins beïnvloed worden.

Bij de keuze van glassoorten voor elek-tronische toepassingen dient men dus terdege rekening te houden met het feit dat een elektronenbombardeмент op een glasoppervlak verregaande gevol-gen voor de materiaalstructuur kan hebben. Een voorbeeld hiervan is het solarisatie-effect, waarbij het glas sterk verkleurt. Dit effect wordt meestal verkleind door toevoeging van cesium aan de glassamenstelling.

Naast de soortelijke weerstand zijn an-dere grootheden als dielektrische constan-te (E), dielektrische verliesfactor ($tg\delta$) en de doorslagspanning voor be-paalde toepassingen van belang.

Keramieken genieten als isolator vaak de voorkeur boven glazen omdat de isolatiewaarde daarvan bij hogere tem-peratuur beter behouden blijft.

Chemische eigenschappen

Glas en keramiek worden veel toege-past omdat ze voor een groot aantal cor-rosieve stoffen inert zijn. Zo wordt bij-voorbeeld kwartsglas veel toegepast in de halfgeleiderindustrie, omdat het nau-welijks reageert met de gebruikte gas-sen en zeer weinig verontreinigingen bevat, zeker in vergelijking met het eveneens toegepaste silicium-geïnfil-treerd-siliciumcarbide (SiSiC); zie ta-bel 2. SiSiC heeft daarentegen het voor-deel dat het toepasbaar is bij processtem-peraturen van 1600°C tot 2000 °C, af-hankelijk van de omstandigheden. Ze-ker in geval van zuren en logen, al of niet bij hogere temperaturen, hebben de meeste keramieken een veel betere be-stendigheid dan glazen.

In de procesindustrie en analysetechniek wordt veel borosilicaatglas toegepast omdat het relatief gemakkelijk bewerk-baar is en voor vele stoffen een uitste-kende chemische bestendigheid heeft.

Bij de steeds verder gaande verfijning van analyses moet men bij de glaskeu-ze voor apparatuur terdege rekening houden met de glassamenstelling, om te voorkomen dat de analyses hierdoor beïnvloed worden.

De chemische resistentie van glazen is

Element	Kwartsglas	SiSiC
Au	< 0,0001	0,001
Co		0,05
Cr	< 0,06	0,3
Fe	0,2	8,0
K	0,3	0,8
Mg	0,2	
Mn	0,25	0,8
Na	0,2	0,1
Li	0,5	
Zr	2,0	5,0
Sb	0,0002	0,004

Tabel 2 Verontreinigingen in ppm van kwartsglas en silicium-geïnfiltreerd-siliciumcarbide (SiSiC)

zeer goed voor een groot aantal stoffen, maar vrijwel elke glassoort wordt aan-getast door fluorwaterstofzuur (HF). In figuur 3 is de etssnelheid van verschil-lende materialen voor een 40% HF-op-lossing weergegeven. We zien, dat sili-ciumcarbide nauwelijks wordt aange-tast door HF, terwijl bij de glazen – af-hankelijk van de samenstelling – een behoorlijke afname plaatsvindt.

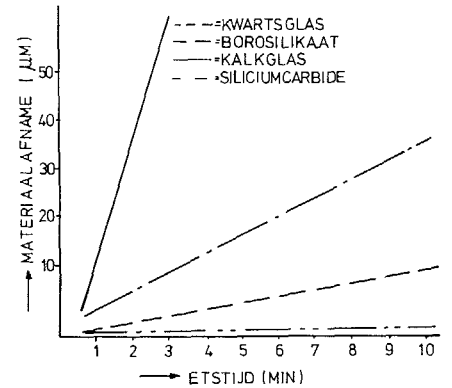
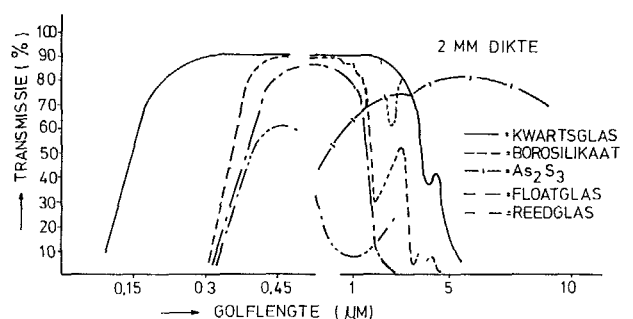
Naast het feit dat aantasting voor sommi-ge toepassingen zeer vervelend is, maakt men bij andere technieken hiervan dank-baar gebruik, bijvoorbeeld om glasoppervlakken met behulp van etstechnieken te profileren en/of te "polijsten".

Verder moet men er rekening mee hou-den dat een groot aantal glazen slecht bestand is tegen logen, zoals bijvoor-beeld NaOH, zeker bij temperaturen tussen 50° en 100°C.

Optische eigenschappen

Optische eigenschappen zijn vooral van belang bij de vervaardiging van op-tische componenten, zoals lenzen, pris-ma's en optische vezels. Voor deze toe-passingen is er een breed scala van op-tische glazen voorhanden met bre-tingsindices (N_d) in het zichtbare ge-bied van 1,44 tot 2,1; deze zijn sterk af-

Figuur 4 Verband tus-sen golflengte en trans-missie voor een aantal glazen



Figuur 3 Etssnelheid in 40% HF-zuur voor enkele materialen

hankelijk van de samenstelling.

In het kortgolvlige stralingsgebied (UV) wordt veelvuldig kwartsglas gebruikt omdat dit nog een redelijke transmissie geeft, waar andere glassoorten de straling vrijwel geheel absorberen; zie figuur 4.

Geheel andere glassamenstellingen vinden weer toepassing in het langgolvlige stralingsgebied (IR), zoals bij-voorbeeld het As_2S_3 -glas en germanium voor CO_2 -laseroptiek.

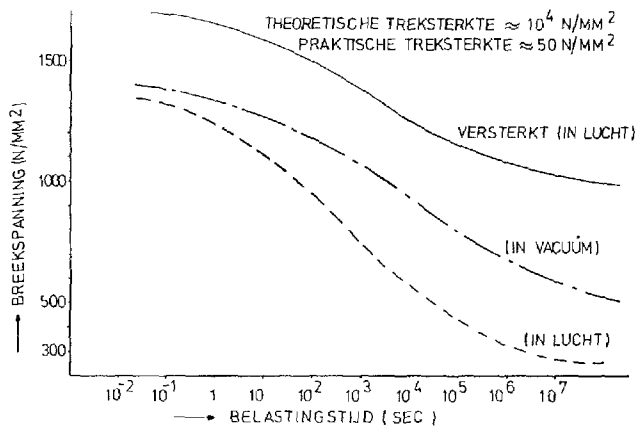
Glazen worden voor vele applicaties geselecteerd op de eigenschap dat ze in het desbetreffende golflengtegebied een bepaalde transmissie en/of bre-tingsindex bezitten.

Voor weer andere toepassingen is een grote absorptie van belang, zoals bij afscherming van röntgenstraling en zonnestraling. Voor optische toepas-sing van keramieken speelt vooral saf-fier (eenkristal van Al_2O_3) een belang-rijke rol.

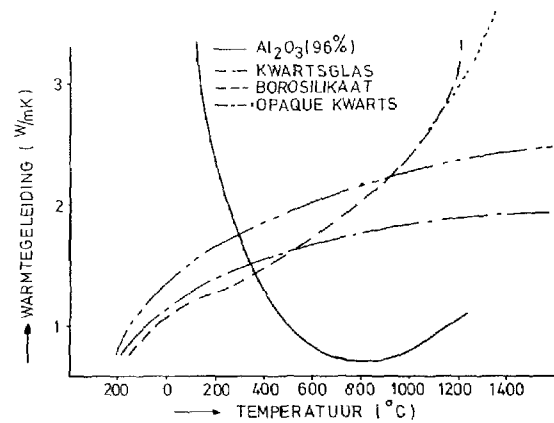
Mechanische eigenschappen

Glas en keramiek hebben in het alge-meen de naam dat ze zeer zwak en breekbaar zijn en worden daarom meestal gemeden in constructies, wat in wezen onterecht is.

De mechanische sterkte van glas en ke-



Figuur 5 Verband tussen belastingsduur en breukspanning van een glasstaaf onder een aantal omstandigheden



Figuur 6 Verband tussen warmtegeleidingscoëfficiënt en temperatuur voor enkele materialen

ramiek is zeker vergelijkbaar met die van staal en aluminium; de theoretische treksterkte van glas bedraagt circa 10^4 N/mm^2 . In de praktijk wordt die waarde niet gerealiseerd omdat deze sterk afhankelijk is van de oppervlakte-gesteldheid en vochtigheidsgraad.

Mechanische bewerkingen, vingerafdrukken en de etsende werking van water verzwakken het glasoppervlak zodanig, dat in de praktijk met een breukspanning van 5 N/mm^2 gerekend wordt. De breukspanning is verder sterk afhankelijk van de belastingsduur, zoals weergegeven in figuur 5. Een glasstaaf, getrokken onder optimale omstandigheden en beproefd onder vacuüm, is veel sterker dan een soortgelijke staaf beproefd in lucht, omdat dan de altijd aanwezige waterdamp op het oppervlak kan inwerken.

Verder kan versterkt glas een nog grotere belasting (15 N/mm^2) doorstaan. Glas kan echter op verschillende manieren versterkt worden, onder andere door versneld afkoelen of door het oppervlak chemisch te modificeren.

Door eerst homogeen te verhitten tot boven het punt waarbij spanningen ontstaan en daarna geforceerd te koelen, komt het oppervlak onder drukspanning. Deze spanning vormt als het ware een drempel voor de krachten die het oppervlak onder trekspanning moeten brengen om een breuk te initiëren.

Bij het chemisch versterken wordt het oppervlak onder drukspanning gebracht door aan dit oppervlak ionen uit te wisselen. Hiertoe wordt het glas in een bad met gesmolten kaliumnitraat bij ongeveer 400°C gedompeld. Hierbij vindt een uitwisseling plaats tussen K^+ -ionen

uit het bad en Na^+ -ionen uit het glas. Doordat het K^+ -ion een grotere ionstraal heeft dan het Na^+ -ion ontstaat in de oppervlaktelaag een drukspanning. Bij bepaalde toepassingen kan men hiervan gebruik maken en zodoende mechanisch sterke constructies realiseren.

Thermische eigenschappen

Zoals al eerder is opgemerkt beperkt bij veel technici de kennis omtrent de thermische eigenschappen van glazen zich tot de temperatuurwisselvastheid – het barst in stukken bij snelle afkoeling of opwarming – en staat daarmee andere toepassingsmogelijkheden in de weg. Eén van deze mogelijkheden wordt gegeven door het warmtegeleidingsgedrag van glas en keramiek, zoals weergegeven in figuur 6. Hierin is duidelijk te zien dat keramiek een sterk afwijkend gedrag vertoont ten opzichte van glas. Het heeft een hoge warmtegeleiding bij kamertemperatuur om daarna snel af te nemen bij stijgende temperatuur met een minimum nabij de 800°C . De meeste glazen daarentegen hebben een oplopende warmtegeleidingscoëfficiënt bij toenemende temperatuur.

Bij toepassing van kwartsglas als warmte-isolator boven de 800°C dient men rekening te houden met de warmte-overdracht door straling, die enigszins te beperken is door het oppervlak te matteren.

De thermische uitzetting van glas en keramiek zijn in grote mate ook bepalend voor de mogelijkheid om ze te verbinden met andere materialen. Zowel glas als keramiek zijn met behulp van verschillende technieken uitstekend te ver-

binden met andere glas- en keramieksoorten, maar ook met metalen. Vooral de verbindingen met metalen vinden veelvuldig toepassing in uiteenlopende technische toepassingen zoals lampen en opto-elektronische componenten.

Samenvatting

Constructeurs, ontwerpers en andere technici hebben vaak een geheel vertekend beeld van de mogelijkheden van glas en keramiek wat betreft hun technische toepasbaarheid. Veelal wordt het gebruik van glas en keramiek met de verkeerde argumenten vermeden. Er is momenteel een zeer groot scala van specifieke glas- en keramieksoorten en bewerkingstechnieken voorhanden, die tot kwalitatief betere oplossingen kunnen leiden en dus meer toegevoegde waarde geven.

Auteursnoot

Ing. J. C. G. Vest is technisch directeur van Louwers Hapert Glas techniek B.V. te Hapert

Redactienoot

Dit artikel is een bewerking door de auteur van zijn gelijknamige voordracht, gehouden op de Themadag "Glastechnologie" in het Mikrocentrum te Eindhoven op 29 april 1993

Literatuur

- [1] Glass Science, H.R. Doremus, John Wiley & Sons
- [2] Optical Properties of Glass, I. Funderlik, Elsevier
- [3] Properties and Applications of Glass, H. Rawson, Elsevier
- [4] Werkstoffkunde - Glas, S. Spauszus, Veb Leipzig
- [5] Glas Natur, Struktur und eigenschaften, H. Scholze, Springer-Verlag
- [6] Glaschemie, W. Vogel, Veb Leipzig
- [7] Glass Engineering handbook, E. Schand, McGraw-Hill
- [8] Vademecum voor de Glastechniek, P. Heller e.a., Kluwer Technische Boeken
- [9] Strength and Fracture of Glass and Ceramics, J. Mencik, Elsevier
- [10] Engineered Materials Handbook, Vol. 4 Ceramics and Glasses, ASM International