

Verbinden van metaal aan keramiek*

Geheel uit keramiek opgebouwde constructies zijn nog moeilijk te realiseren. In vele gevallen zal het nodig zijn constructies te maken uit b.v. combinaties van keramiek of van metaal en keramiek. Hierbij zal terdege rekening gehouden moeten worden met de typische eigenschappen van keramische materialen zoals de grote hardheid en sterkte, geringe ductiliteit, brosheid, uitzetting en warmtegeleiding. Verbindingen van metaal aan elektrokeramiek worden al vele jaren met succes toegepast. Voor verbindingen van metaal aan technisch keramiek - zoals Al_2O_3 , ZrO_2 , SiC , TiC , Si_3N_4 , TiN - worden wereldwijd omvangrijke onderzoekprogramma's uitgevoerd. Ook in ons land worden onderzoeken uitgevoerd, en wel op het gebied van hoogtemperatuursolderen, diffusielassen van metaal aan keramiek en de kwaliteit van de hecht- en deklagen betreffend. In dit artikel ligt het accent op het verbinden van metaal aan keramiek door middel van solderen.

Soldeermethoden

Methoden voor het solderen van keramiek-keramiek en keramiek-metaal verbindingen zijn

- het metalliseren van het keramiek en het daarna aan elkaar solderen van de delen;
- het zogenaamd actief solderen, waarbij de verbinding in één stap tot stand komt

Op beide methoden wordt in het volgende ingegaan.

Solderen na vooraf metalliseren

Bij het metalliseren van bijvoorbeeld Al_2O_3 , wordt veelal de molybdeen-mangaan methode toegepast. Na het bewerken van het keramiek brengt men op het te solderen en bewerkte vlak, in de vorm van zogenaamde inkt, een dun laagje Mo-Mn aan (dikte ca. 25 μm). De mogelijkheden van dit aanbrengen zijn in *figuur 1* in een tabel samengevat.

Vervolgens wordt het laagje ingebrand gedurende 30 á 45 minuten bij een temperatuur van 1500° à 1900°C. Daarna voorziet men het langs galvanische weg van een nikkellaagje (dikte ca. 5-15 μm) dat eveneens wordt ingebrand. Tijdens het inbranden vindt

* Op 3 maart 1988 werd in het Mikrocen-trum-West te Delft een themadag gehouden over het onderwerp "Verbinden van metaal aan keramiek", met het accent op solderen

Dit artikel is een samenvatting, opgesteld door de heer A. Quak, van de voordrachten van de heren Ir. H.H. van der Sluis, Metaal, instituut TNO, Apeldoorn en J. van Esdonk, VEM, Eindhoven

diffusie plaats tussen de metaallaagjes waardoor op het keramiek een goed gehecht soldeerbaar laagje is ontstaan

Het metalen deel voorziet men, na poederstralen en ontgassen, eveneens van een galvanisch aangebracht nikkellaagje (dikte ca. 10 μm).

De nikkellaagjes voorkomen soldeer-brosheid, zorgen voor een goede hech-

ting met het soldeer en garanderen daardoor een hechte soldeerverbinding

Een bezwaar van het metalliseren zijn de hoge kosten, die namelijk 50% van de totale soldeerkosten bedragen. In *figuur 2* zien we de opbouw van een keramiek-metaal verbinding weergegeven

Actief solderen

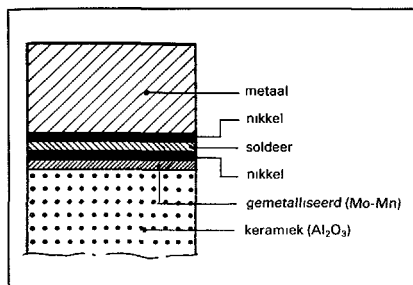
De hoge kosten van metalliseren zijn ondermeer oorzaak van de toenemende belangstelling voor het zogenaamd actief solderen. De verbinding komt daarbij in één stap tot stand, zie *figuur 3*.

Op de te solderen delen brengt men met behulp van een penseel een laagje titaanhydride aan met een bindmiddel op waterbasis (pasta). Men onderscheidt daarbij pasta's geschikt voor temperaturen tot ca. 1100°C en de hogetemperatuurpasta's geschikt tot ca. 1400°C.

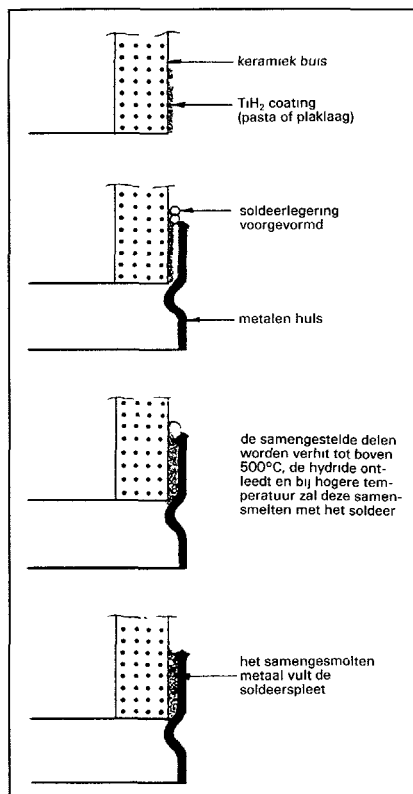
Het solderen gebeurt in een beheerste en controleerbare atmosfeer bijvoor-

Methode voor het aanbrengen van de laag ("inkt")	Vorm/profiel van de ingebrande, gemetalliseerde laag	Dikte (μm)	Kwaliteit van de laag
nevelspuiten		0-50	- ongelijkmatige dikte - niet nauwkeurig
schermdruk (met behulp van gaas)		10-40	- netwerk lijnen - grote precisie
spuiten		5-40	- hobbelige en ongelijkmatige dikte - kan heel nauwkeurig zijn - wordt beïnvloed door de nauwkeurigheid van het keramiek
penseel (met pasta)		0-50	- penseelstrepen - ongelijke dikte - beperkte nauwkeurigheid
rollen		5-30	- variabele breedte en dikte - nauwkeurig - vlak profiel/laag
plakband (kunststof) met pasta		5-20	- afhankelijk van de plakbandkwaliteit

Figuur 1 Vorm en kwaliteit van de gemetalliseerde laag in relatie tot de toegepaste methode



Figuur 2 Keramiek-metaal verbinding



Figuur 3 Solderen met een titaan-hydride coating

beeld in een beschermgas of in een vacuüm. Als beschermgas heeft men de keuze uit bijvoorbeeld een

- reducerend gas, zoals H₂, CO een mengsel van N₂ en H₂, of
- inert gas, zoals Ar, N₂

Het vacuumsolderen vindt plaats op een druk die varieert van < 1 tot 10⁻⁶ mbar

Het in beheerste atmosfeer of vacuumsolderen heeft tevens het voordeel dat het toepassen van een vloeimiddel (flux) niet altijd nodig is, dus ook geen verwijdering daarvan na het solderen

Metalen

Metalen die worden toegepast voor keramiek-metaal verbindingen zijn o.a.

- fernico (ijzer-nikkel-cobalt) bijvoorbeeld FeNi₂₈Co₂₃,
- monel (koper-nikkel) bijvoorbeeld CuNi₆₈Fe₃Mn₁,
- roestvaststaal AISI 430 (14-18),

- titaanlegeringen,
- superlegeringen (speciaal voor zeer hoge temperaturen).

De keuze van het toe te passen metaal is uiteraard afhankelijk van het gebruiksdoel.

Voor het solderen zal men de metalen delen eerst gloeien ter verlaging of opheffing van de inwendige restspanningen

Belangrijk voor een goede soldeerverbinding is ondermeer de hechting van het soldeer aan het metaal. Daarom worden de metaaldelen voor het metalliseren eerst ontvet. Fernico-delen worden vervolgens elektrolytisch verkoperd en daarna vernikkeld. Metalen delen van roestvaststaal AISI 430 zal men vernikkelen om een goede bevochtiging door het soldeer mogelijk te maken

Soldeer- of toevoegmaterialen

Belangrijk voor het solderen is dat het soldeermateriaal goede bevochtigings- en vloeieigenschappen bezit.

De toevoegmaterialen die bij de genoemde soldeermethoden in aanmerking komen zijn voornamelijk gebaseerd op de metalen koper, nikkel, zilver, titaan, goud. Ze worden als zuiver metaal of als legering toegepast, bijvoorbeeld AgCu, AgCuNi, AgCuLi en andere. De keuze is afhankelijk van de eisen die aan de soldeerverbinding worden gesteld, zoals de gebruikstemperatuur, elektrische geleiding, dichtheid, sterkte

De mate van vloeibaarheid van het toevoegmetaal is belangrijk omdat voor een goede soldeerverbinding de soldeerspleet max 0,05 mm mag bedragen. Het soldeer kan worden aangebracht in de vorm van poeder, pasta (poeder met een bindmiddel), draad, plakband, e.d.

Vloeimiddelen

Als het toepassen van een vloeimiddel (flux) gewenst of noodzakelijk is, kan men gebruik maken van:

- MnO, TiO₂, SiO₂, CuO, FeO voor soldeertemperaturen van 1250°-1800°C,

- MnO, Al₂O₃, B₂O₃ voor soldeertemperaturen van 1000°-1200°C.

Constructie-aanpassing ter voorkoming van ongewenste belasting van de soldeernaad

Tijdens het afkoelen na het solderen kunnen in de verbinding ongewenste spanningen ontstaan als gevolg van nog aanwezige restspanningen veroorzaakt door verschillen in uitzetting (krimp) van metaal- en keramiek. Dit betekent dat de soldeernaad alle rek c.q. krimp, en daardoor trekspanningen, moet opnemen. Vooral bij grote diameters wordt snel de kritieke waarden bereikt.

Bij het ontwerpen is daarom ruime aandacht vereist voor de vormgeving van de delen. Het metaal deel is door zijn grotere ductiliteit t.o.v. keramiek het meest geschikt het verschil in krimp op te nemen of zelfs te elimineren. Dit bereikt men met een zogenaamde vervormbare constructie, in figuur 4 is een voorbeeld aangegeven.

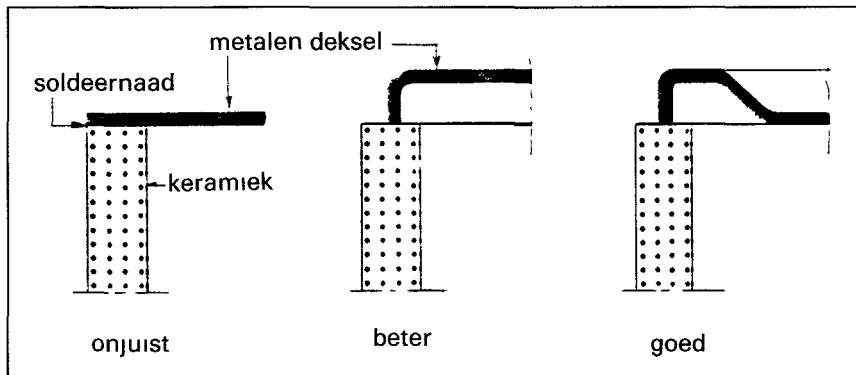
Onderzoek van soldeerverbindingen

Contrôle op de kwaliteit van soldeerverbindingen is mogelijk door middel van destructief en niet-destructief onderzoek

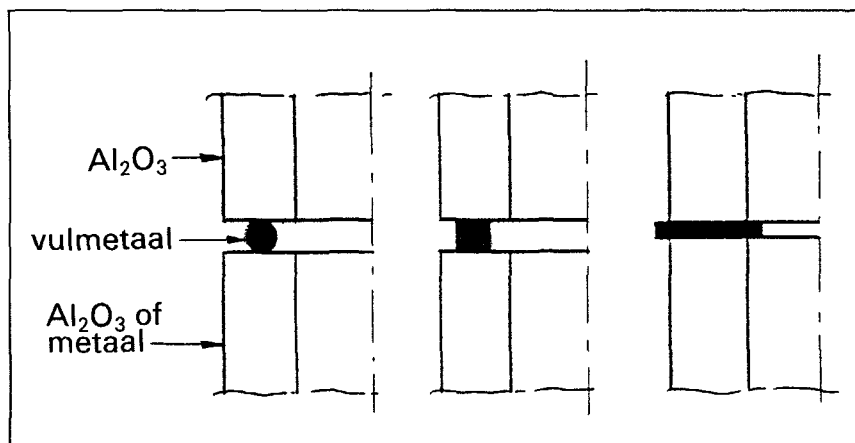
Met niet-destructief onderzoek is het mogelijk een soldeerverbinding te onderzoeken op

- oppervlakte gebreken, die waar te nemen zijn met het blote oog, loupe, microscoop en met een penetrant;
- kwaliteit (homogeniteit-poreusheid) door middel van radiografisch- en ultrasoon onderzoek;
- dichtheid door middel van een lektest

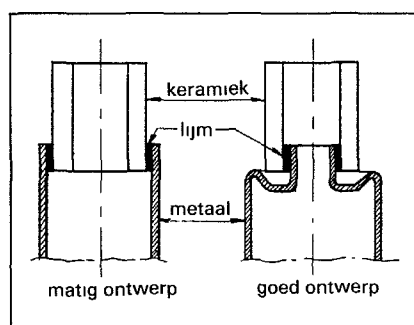
Bij het destructief onderzoek probeert men o.a. inzicht te verkrijgen in de sterkte en afschuifgevoeligheid van de soldeernaad. Genormaliseerde proeven zijn echter nog niet beschikbaar. De sterkte bepaalt men met een trekproef waarvoor een trekproefstuk wordt gebruikt zoals is weergegeven in figuur 7.



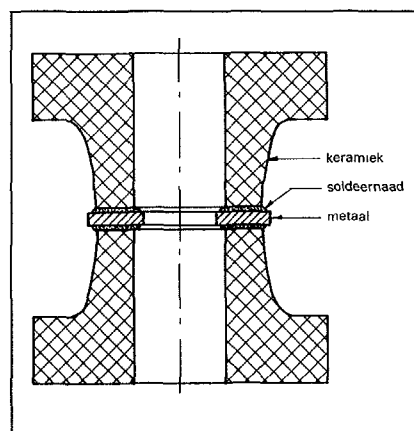
Figuur 4 Voorbeeld van een keramiek-metaal verbinding



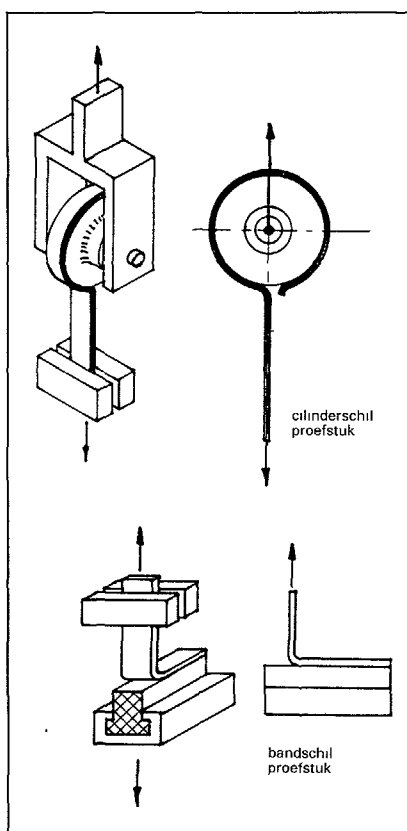
Figuur 5 Verbinden door middel van thermocompressie



Figuur 6 Lijmverbindingen



Figuur 7 Een geïsoleerd trekspanningsproefstuk (ASTM F16 test)



Figuur 8 Afpelttest (peel test)

De afscheur- of afschuifgevoeligheid kan men onderzoeken met een zogenaamde afpelttest, of peel test, zie figuur 8.

Andere verbindingsmethoden

Behalve door solderen is het ook mogelijk keramiek-keramiek en keramiek-metaalverbindingen te realiseren door middel van thermocompressie en lijmen

Bij *thermocompressie* brengt men, voor een keramiek-keramiek verbinding, tussen de delen een vulmetaal aan in de vorm van draad, folie of plaat, figuur 5

Daarna onderwerpt men het aan een hoge druk en een temperatuur die ca 90% bedraagt van de smeltemperatuur van het metaal. De verbinding komt tot stand door diffusie van het vulmetaal in het keramiek.

Bij de keramiek-metaalverbindingen is een vulmetaal niet altijd nodig

Bij *lijmverbindingen* maakt men gebruik van één of twee componentenlijm op epoxybasis en van geleidende lijmsorten. Lijmverbindingen zijn niet geschikt voor toepassingen bij hoge temperaturen. De sterkte van de verbinding is in sterke mate afhankelijk van de hechting van de lijm aan het materiaal en vereist bij de voorbehandelingen bijzondere zorg. Bij keramiek-metaalverbindingen speelt, voor een duurzame constructie, de vorm van het metalen deel een belangrijke rol in verband met het verschil in uitzetting c.q. krimp van keramiek en metaal. In figuur 6 is daarvan een voorbeeld gegeven

nieur" door ir. W. van Ekeren van Tebodin Advies- en Constructiebureau BV

- "Brandveiligheidsreglementen toegankelijk gemaakt" door ing L.A. Huygen, van Huygen Maastricht Raadgevende Ingenieurs BV
- "Rookproductie en rookwerendheid" door ir. H. Zorgman, medewerker Centrum voor Brandveiligheid TNO
- "Beveiliging van vluchtwegen door overdrukventilatie" door ir. R.J.M. van Mierlo, medewerker Centrum voor Brandveiligheid TNO.
- "Visie op de toekomst" door ir. L. Twilt, Hoofd Centrum voor Brandveiligheid TNO.

Voor nadere inlichtingen of aanmelding voor deelname aan de lezingendag en/of aan de trade-show, die gelijktijdig met de lezingendag gehouden zal worden, kan men zich wenden tot het verenigingsbureau van de TVVL, Koningin Wilhelminalaan 37, 3818 HN Amersfoort, telefoon 033 - 634388.

Studiedag over het beheersen van het brandrisico

Op dinsdag 8 november 1988 zullen in het Mercury Hotel te Nieuwegein tijdens de lezingendag "Brandveiligheid uw verantwoordelijkheid" een aantal prominente sprekers ingaan op aspecten die met het beheersen van het brandrisico te maken hebben.

Dat de mens nog steeds moeite heeft met het beheersen van het brandrisico

blijkt telkens weer in de praktijk, waarbij de recente brand op de Noordzee ons nog duidelijk voor ogen staat.

De volgende onderwerpen zullen tijdens deze lezingendag, onder leiding van ing H.C. Roel van de TVVL-commissie brandpreventie, door zeven deskundigen worden belicht:

- "Brandveiligheid: u zorgt!" door ing A. Houdkamp, van het bureau Nagtglas Versteeg.
- "De rol van de architect" door ir. D. van Mourik van het gelijknamige architectenbureau
- "De rol van de Raadgevend Inge-