

Microvonken, elektrodefabricage en apparatuur

J.L.C. Wijers

Industriële sectoren die zich bezighouden met microtechniek winnen sterk aan belangrijkheid en omvang. Enkele jaren al staan als gevolg daarvan diverse bewerkingstechnieken, waaronder (micro-)vonkeroderen onder sterke druk.

Elektronica- en informatica-ontwikkelingen spelen daarbinnen een stimulerende, dualistische rol. Met een veeljarige traditie in overwegend de onderzoek sfeer, zijn anno 1988 signalen te detecteren die wijzen op een groeiende algemene belangstelling voor het microvonken.

Van de bewerkingstechnieken wordt in onverminderde mate verlangd dat nog sneller bewerken haalbaar is, zelfs in moeilijk verspaanbaar materiaal. Gelijktijdig ermee vernauwen de geeiste toleranties. Mogelijk nog ingrijpender van karakter is de trend tot het verkleinen van te fabriceren profielen (miniaturisatie) vaak gekoppeld aan een toenemende materiaaldikte. Daarenboven wordt getracht een aantal functies te integreren in elk, daardoor complexer, afzonderlijk produkt.

Terwijl tot voor kort alleen de een of andere "verknijpte laboratoriumtechnieut" zich druk maakte over het ontbreken van passende vonkfaciliteiten, bestaat vanuit deze achtergronden heden ten dage meer algemeen belangstelling voor het microvonken. Deels valt dit toe te schrijven aan het opkomen van geavanceerde, soms volkomen nieuwe materialen en de ondertussen algemeen bekend geworden positieve aspecten van vonkeroderen. Anderzijds zijn informatica en elektronica daar op een tweeslachtige wijze schuld aan. Vorderingen op genoemde gebieden ontsluiten veelbelovende innovatieve toepassingen, echter wel met inherente fabricageproblemen, vooral in het microgebied. Te denken valt aan mono-mode glasfibersystemen voor telecommunicatie, nieuwe druktechnieken zoals met ink-jet printers, ontwikkelingen op metallurgisch gebied en binnen het meten, die meer hoogwaardige apparatuur en als verder voorbeeld verfijnde rasters vereisen. Tevens wordt op microvonken een hernieuwd beroep gedaan vanuit de automobiellindustrie ten behoeve van brandstofinjecteurs. Anderzijds dragen genoemde innovaties wezenlijk bij tot sterk verbeterde productiemogelijkheden door middel van snel schakelende vermogenstransistoren, sterk verbeterde servosystemen, hoogwaardige numeriek gestuurde procesregeleenheden, etc.

Zoals tegenwoordig zelfs de meest fervente voorstander van "vakmanvrij" (autonoom) bewerken zal weten is de kennis, kunde, ervaring en motivatie van een vakman een essentiële, mede-bepalende factor; zie figuur 1. Op zoek naar microns in het microvonken is naast adequate apparatuur en een passende werkomgeving, een competente mechanische assistent nagenoeg onontbeerlijk!

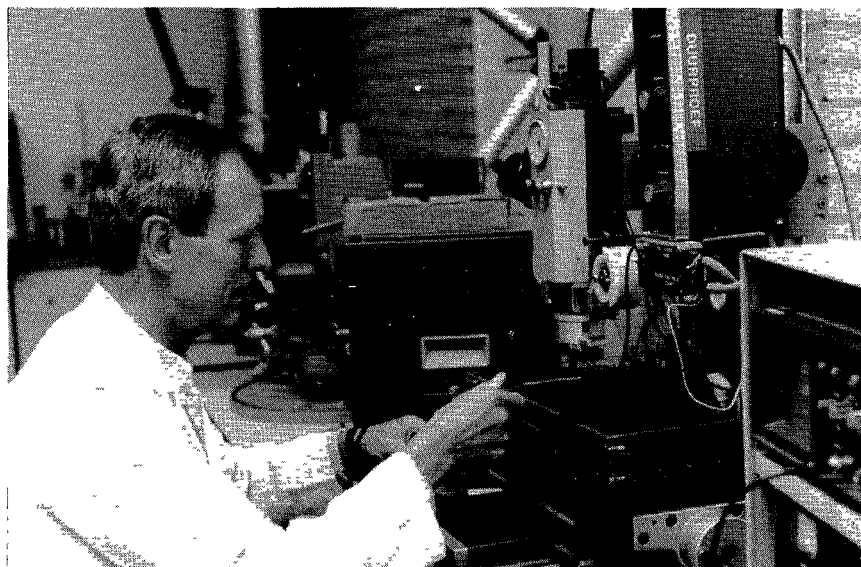
Vonkerosie algemeen

Vonkerosie is in principe een elektrothermische bewerkingsmethode berustend op het zeer plaatselijk smelten en verdampen van metaal in goed gedefinieerde afzonderlijke vonkontladingen. De gestolde materiaaldeeltes worden vervolgens uit de nauwe vonkspleet afgevoerd met inzet van het vloeibare diëlektricum. Het vonkproces wordt verder in deze context verondersteld bekend te zijn. Mikro-

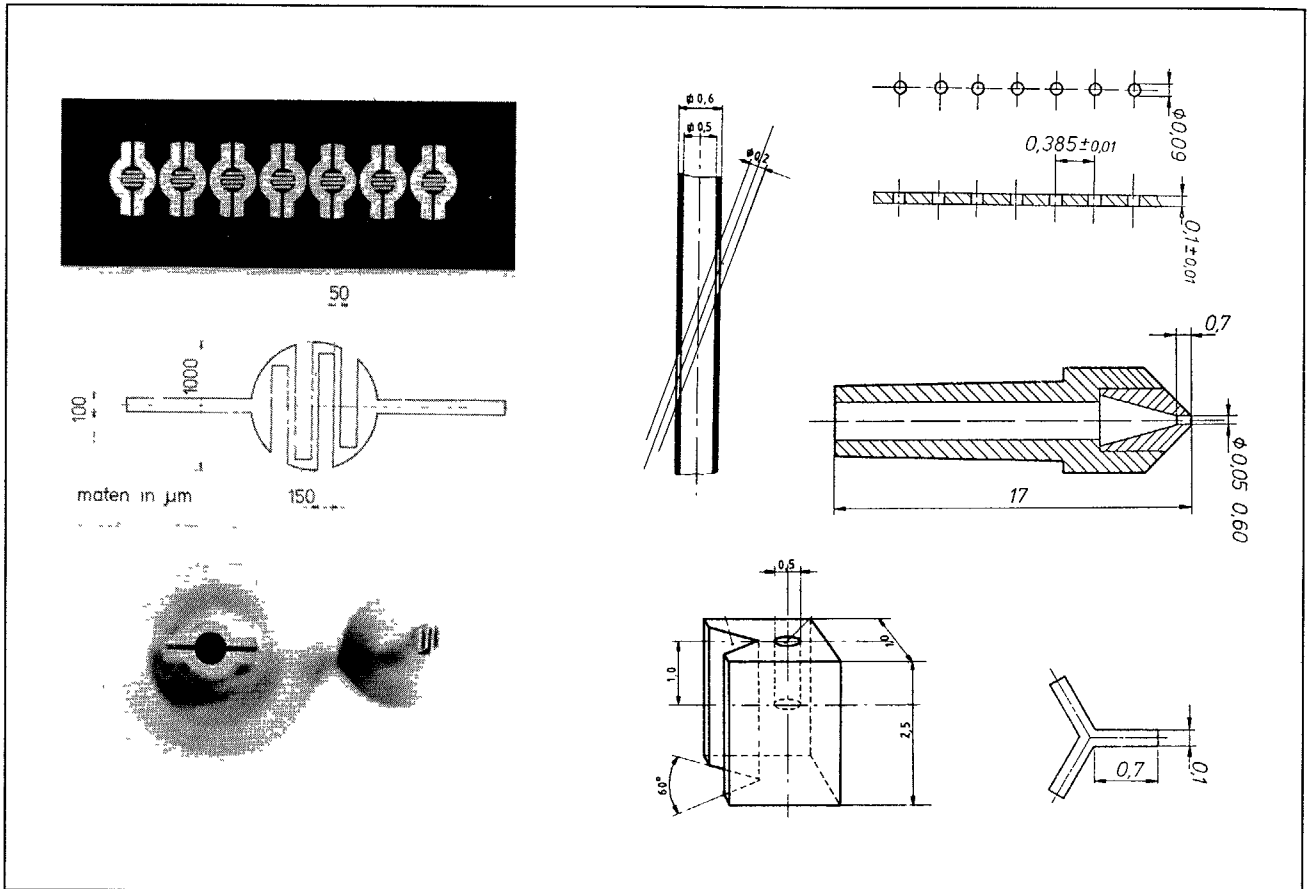
niek heeft door de jaren heen (zie [1], [2], [3]) de nodige kennis hierover verspreid.

Vonkerosief bewerken is een van de weinige beschikbare technieken om strakke rechthoekig of vrij gevormde contouren te fabriceren. Meer traditionele methodes hebben daar grote moeite mee, in het bijzonder indien een additionele eis is dat de te fabriceren holte niet doorloopt, maar blind is. Microvonken (profielafmetingen < 1 mm) kan bogen op een eerbiedwaardige traditie, werd echter tot voor kort overwegend op enkele plaatsen in het wetenschappelijk onderzoek ingezet.

Veelal wordt microvonken toegepast om holtes, als negatieve overmaatse afdruk van de tevoren aangemaakte gereedschapelektrode, in moeilijk bewerkbare materialen (zelfs enkele keramieksoorten) of mechanisch zwakke werkstukken aan te brengen; zie figuur 2. In nogal wat gevallen gaat het daarbij om profielen van extreem kleine afmetingen in combinatie met een grote lengte-over-diameter verhouding (L/D). In laboratoriumomstandigheden wordt vonkeroderen met microvonkmachines toegepast voor bijvoorbeeld het in plakken snijden met een draadelektrode van, al of niet met röntgendiffractie, uitgerichte éénkristallen gevolgd door zogenaamd



Figuur 1 Voor het bedienen van een microvonkmachine is een grote mate van vakmanschap vereist, plus een vaste hand.

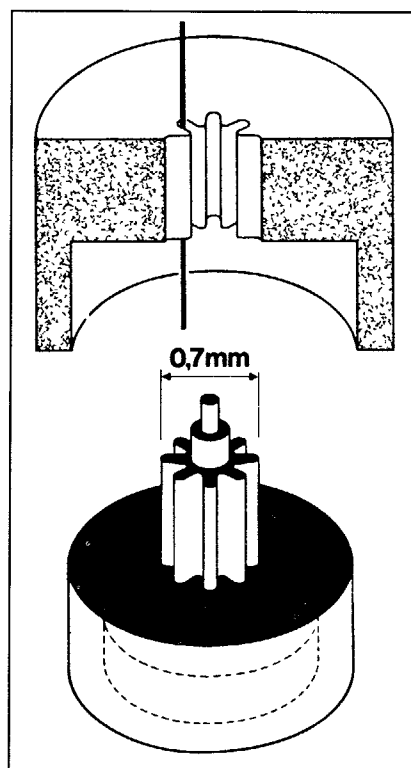


Figuur 2 Voorbeelden van micro vonkwerk op grond van geometrie en/of materiaalaspecten.

vlakvonken De meest belangrijke stap in het preparaatbewerken, een zo glad mogelijk, plat vlak met een gedefinieerde kristallografische orientatie, wordt daarmee aanzienlijk vergemakkelijkt. Op zich is het eigenlijk onterecht dat het numeriek bestuurd draadvonken niet in deze verhandeling wordt betrokken. Heden ten dage worden daarbij immers draadelektrodes ingezet tot 30 à 50 micrometer in doorsnede en zijn oppervlaktegesteligheden te halen in de ordegrootte van $0,10 \mu\text{m} R_a$ ook bij zeer kleine producten; zie figuur 3. Deze techniek is verder nog volop in beweging. Een groot deel van de hier bedoelde applicaties komt door hun vorm niet in aanmerking voor draadvonken, vanwege onder andere de beperkte mogelijkheden van een dunne rechte draadelektrode (regelvlakken over de contour zijn nodig). Een cilindrische opening draadvonken met de hier vereiste onnauwkeurigheid van $1 \mu\text{m}$ of kleiner is trouwens maar weinig NuBe draadvonkmachines gegeven!

Elektrode-aanmaak

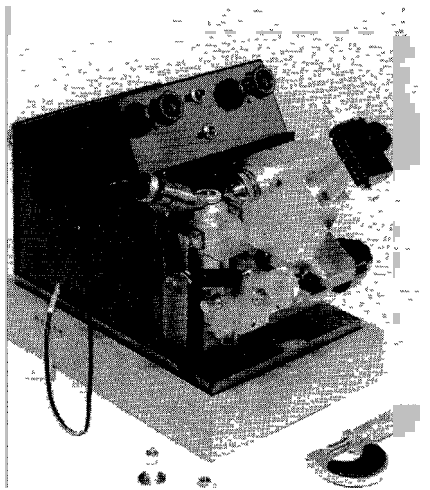
Mechanische krachten, voortkomend uit het proces zelf, spelen in het normale zinkvonken een ondergeschikte



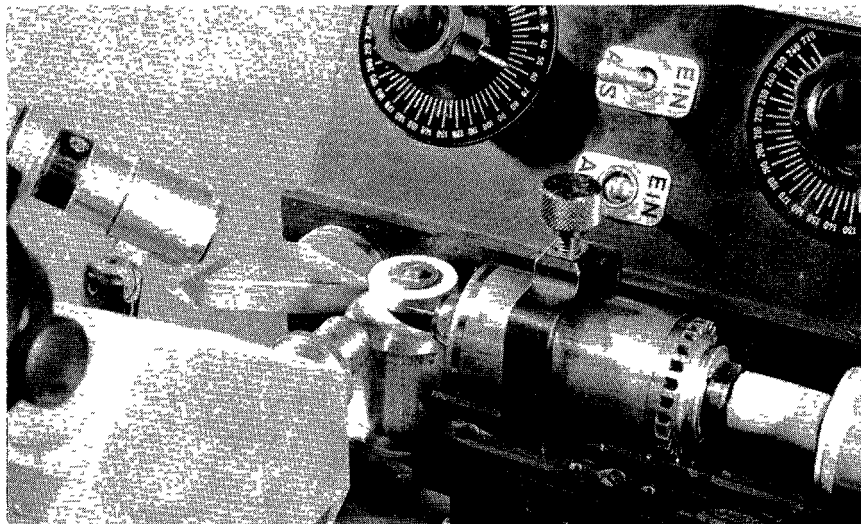
Figuur 3 Microdraadvonkwerk: Een onderdeel van een spuitgietmatrijs voor een magnetische rotor met tandwielje (moduul 0,06975) dat uitvalvrij gevonkt is met een W-draad van 0,03 mm

rol, afgezien van spoelingsinvloeden. In het microvonken is het gegeven bekend dat een elektrode nogeens de diametrale vonkspleet ($2x SI$) kleiner is dan de toch al minieme produktafmetingen. Begrijpelijk zal dan ook zijn dat bij dergelijke applicaties elke trilling, hetzij afkomstig vanuit het machinegedeelte, hetzij uit de spoeling of het vonkproces, wel degelijk storende inwerkingen heeft. Ter verduidelijking dient hier vermeld te worden dat de grootste innovatie in jaren binnen het zinkvonken, het planetair vonken, om een aantal redenen in deze sector (nog?) niet toegepast wordt.

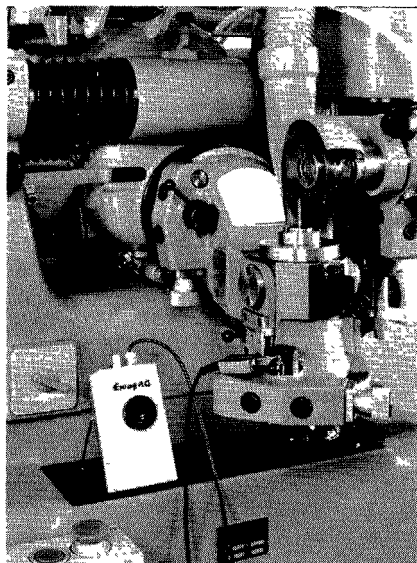
Het fabriceren van dergelijke kwetsbare micro-elektrodes dient te gebeuren in of op het later te gebruiken opspangereedschap, indien mogelijk onder de kop van de vonkmachine zelf in de bewerkingspositie. Het niet volgen van deze praktijkstelling leidt onherroepelijk tot langdurig utruchten achteraf, dat bovendien lang niet in alle gevallen het verwachte hoogwaardige eindresultaat oplevert. Zelfs een verder ontwikkelde methode als het gloeien en strekken in een inerte atmosfeer van getrokken precisiedraad heeft het genoemde nadeel. Dat vormt de hoofdreden waarom ingekochte dunne draad-, plaat-, folie- en pijpvormige micro-elektrodes in de



Figuur 4 Microslijpmachine met een in het horizontaal vlak draaiende slijpschijf, die tevens een op- en neergaande beweging uitvoert.



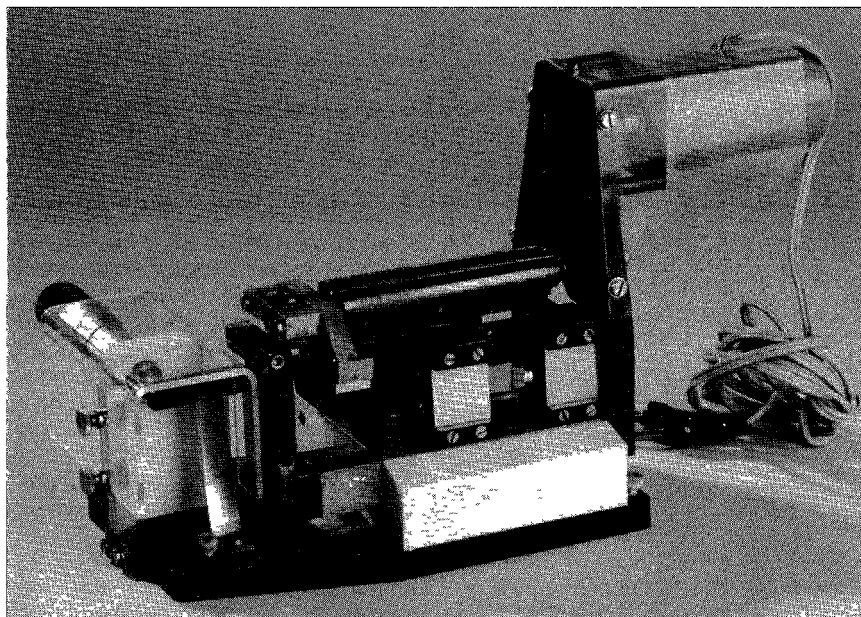
Figuur 6 De gewijzigde versie van figuur 5 met op een V-blok opgenomen roterende vonk-kop. Deze wordt na het slijpen integraal, met de elektrode, op de vonkmachine gemonteerd. Zichtbaar is de afzuiging linksachter de slijpschijf.



Figuur 5 Dichtbij opname van de werkzone van de EWAG slijpmachine die duidelijk de vele instelmogelijkheden toont.

praktijk vaak niet voldoen en er voortdurend nog naar nieuwere methodes wordt gezocht.

Diverse technieken zijn gangbaar om elektrodes in dit bereik, van koper, wolfram, wolframkoper, tantaal, molybdeen, hardmetaal, enz., aan te maken waaronder zondermeer (hoogfrequent) frezen alsmede draaien. Slijpen op speciale slijpmachines krijgt echter in vele gevallen de voorkeur (hoogwaardige apparatuur is beschikbaar, hoge oppervlaktekwaliteit, hoge profielnauwkeurigheid en het bewerken van harde materialen zijn haalbaar). Voorbeelden van dergelijke apparatuur zijn bijvoorbeeld de speciale elektrodeslijpbanken die de figuren 4 en 5 tonen. Het eerste micro-



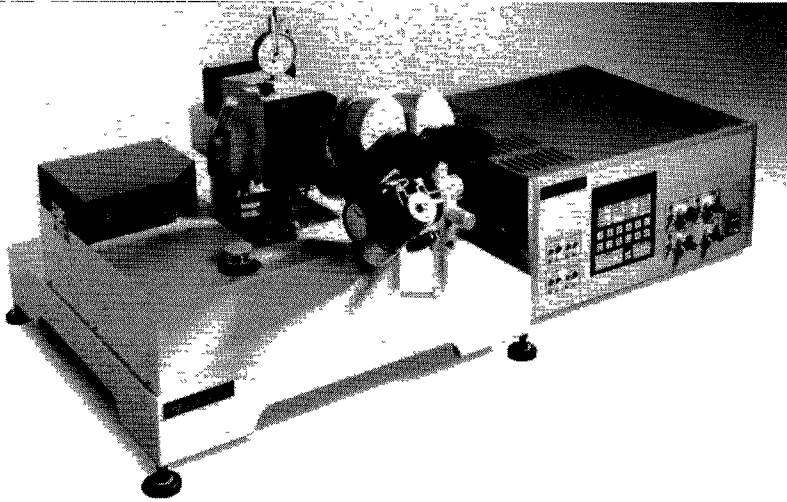
Figuur 7 Een opstelling met bladveren die een nauwkeurige parallelle verstelling waarborgt ook voor zeer kleine afmetingen.

slijpparaat is een vroegere eigen ontwikkeling van Philips om ronde, ellipsvormige en gefacetteerde micro-elektodes te kunnen slijpen. In een van de latere apparaten is de slijpkop verwisselbaar gemaakt, zodat na het slijpen de hele rotatiekop inclusief de geslepen elektrode onder de vonkmachine gebruikt kan worden (figuur 6) zonder de noodzaak de elektrode om te spannen en opnieuw uit te richten. Een tweede, goed voor dit doel bruikbaar apparaat is de speciaal op het slijpen van elektrodes geconstrueerde EWAG WS 11 slijpmachine (Ross Diamond, Haaksbergen). De bank heeft een enorm uitgebreid arsenaal aan verstelmogelijkheden ter beschikking, alsmede een reeks verschillend

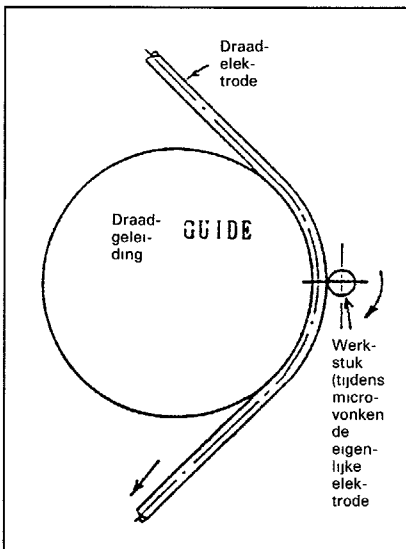
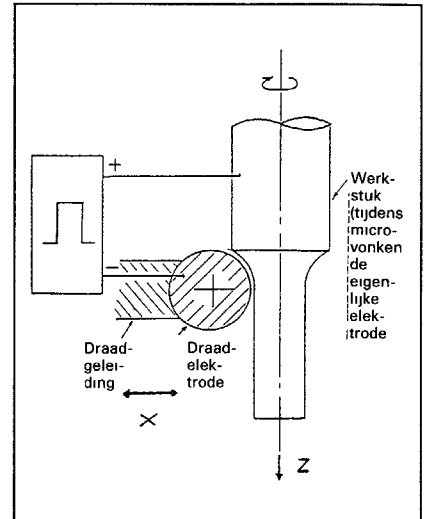
aangedreven en gelagerde slijpspinnen (olie-/lucht).

De grootste beperking is bij al deze methodieken gelegen in de eigen stijfheid van de elektrode, voortkomend uit elektrodemateriaal en -vorm. Hoe kleiner het profiel, des te korter is immers de slijpbare lengte en bijgevolg de door te vonken materiaaldikte.

Meer recentelijk is het aanmaken van elektrodes op de vonkmachine zelf naar voren gekomen. Een van de eerste daarvoor gebruikte opstellingen gaat uit van het op maat (ook wat lengte betreft) vonken van een roterende elektrode (50 tot 500 toeren/minuut, Japanners vertonen voorkeur voor roteren met veel hogere toeren-



Figuur 8a De volledig nieuwe numeriek bestuurd microvonkmachine met draadelektrode voor het vonken van micro-elektrodes van 5 tot 300 µm in diameter.



Figuur 8b Principe van het draadvonken van de micro-elektrode op de MG-E 05 microvonkmachine van Matsushita

tallen tussen 3000-5000) tegen en op het oppervlak van een op de machinetafel gespannen, vlakgeslepen blok materiaal bijvoorbeeld wolframkoper. In deze elektrode-vonkstelling is de latere elektrode (nu het werkstuk) omgekeerd gepoold. Dit wil zeggen dat het WCu-blok, waartegen het "vonkdressen" plaatsvindt, de originele vonk-polariteit heeft van de elektrode. Bijgevolg neemt het roterende materiaal relatief snel de gewenste diameter aan. Bij de hier spelende nauwkeurigheid is tussentijds meten meerdere keren vereist, mede als gevolg van de slijtage terplaatse op het "dress"-blok. Tevens is door onder andere spoelingseffecten een gelijkmatige vonkspleet over de totale, gelijktijdig in "aangrijping" zijnde lengte niet altijd verzekerd, waardoor licht conische of iets golvende vormen

kunnen ontstaan. Corrigeren van elektrodeprofiel en -lengte kan na elke vonkbewerking eenvoudig gebeuren. Eenmaal op diameter en lengte, wordt de aan de maat gevonkte elektrode boven het eigenlijke werkstuk gepositioneerd en vervolgens te gaan vonken wederom van de polariteit gewisseld. Roteren van de elektrode tijdens het vonken levert als voordeel een gelijkmatige verdeling van de optredende slijtage, verbeterde spoeling, een 2 tot 5 maal snellere vonkbewerking en een betere kwaliteit van de boring. Om ook bij zeer kleine diameters (<250 µm) repeterend hoge nauwkeurigheden te kunnen realiseren, wordt het geslepen blok wel vervangen door een stel geslepen roterende hardmetalen rollen (figuur 7) die zeer precies instelbaar zijn op een gewenste vrije opening

Japanse innovatie

In de ondervermelde CIRP publicatie [4] wordt een unieke methode gepresenteerd om ronde microvonkelektrodes aan te maken, onder andere afkomstig van prof Masuzawa (Univ. Tokio), die ondertussen geresulteerd heeft in een volledig nieuw micro-

vonksysteem, zie figuur 8a. Een deel van de problemen is hierbij opgevangen door inzet van een draadelektrode. De draad wordt in de speciaal ontworpen opstelling direct tegenover het werkstuk, terplaatse van de vonkzone ondersteund. Trillingen van het dunne gereedschap (Ø 100 à 200 micrometer) die ook bij numeriek bestuurd draadvonken optreden, waar het werkstuk gesneden wordt met het tussen twee precisie-draadgeleidingen van saffier, diamant of keramiek, vrijlopend gedeelte van de draadvormige elektrode, worden zodoende volledig gedempt. Praktisch gezien verloopt de aanmaak van de minieme elektrode als volgt. Een staafje materiaal (veelal van hardmetaal) wordt ingespannen onder de rotatiekop van het apparaat. De draadloop, die een te allen tijde ongeslepen elektrode garandeert, start vervolgens. Door nu de draadelektrode met de beweging in de richting van de X-as enigermate naar het hart van de rotatie-as te verplaatsen en vervolgens vonkend in de richting van de Z-as naar beneden te bewegen (naar zinkvonk-traditie) wordt vonkerosief een mantel verwijderd. Het herhaald uitvoeren van deze actie maakt zeer nauwkeurig naar een extreem kleine maat toewerken realiseerbaar; zie

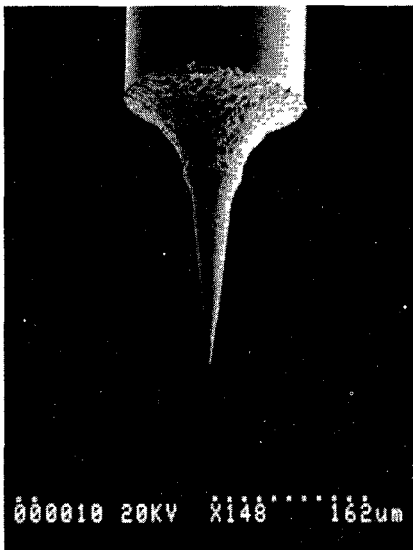
Tabel 1

Erosievastheid en elasticiteitsmodulus van enkele voor microvonkerosie doeleinden geschikte elektrodematerialen (erosievastheid = $\lambda \rho c T m^2 \cdot 10^{13}$; E-modulus = $N/mm^2 \cdot 10^6$)

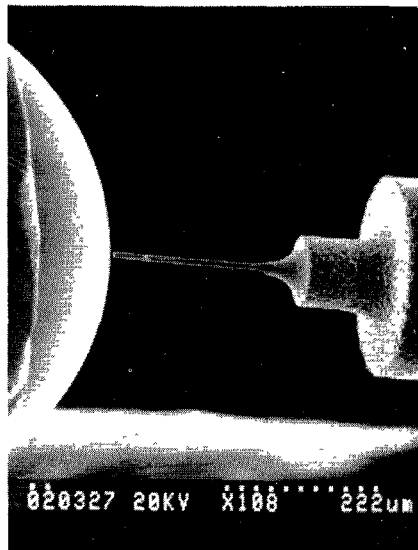
	Erosievastheid	E-modulus
Koper	150	12,5
Wolframkoper (25% Cu)	—	—
Wolfram	500	41,5
Hardmetaal (GT 20)	150	—
Tantaal	—	18,8
Molybdeen	250	33,6



Figuur 9a Hardmetalen, gevonkte elektrode van \varnothing 10 μ m en 150 μ m lengte. De (micro-)vonkstructuur is nog duidelijk te herkennen.



Figuur 9b Ook andere dan cilindrische rotatielichamen zijn te vonken zoals hier getoond wordt



Figuur 9c Een getrapte microvonkelektrode van fijnkorrelig hardmetaal in vergelijking met de kogel van een ballpoint

applicaties in figuur 9a, b, c. De elektrodelenkte kan eveneens vonkend aangepast worden Niet alleen zijn ronde elektrodes van een constante diameter te vonken, ook getrapte en zelfs conische vonkdoorns zijn op deze wijze vervaardigd. Gebleken is dat op deze manier kleinere diameters vervaardigd kunnen worden van een te voren ongekend grote L/D verhouding.

Microvonkapparatuur

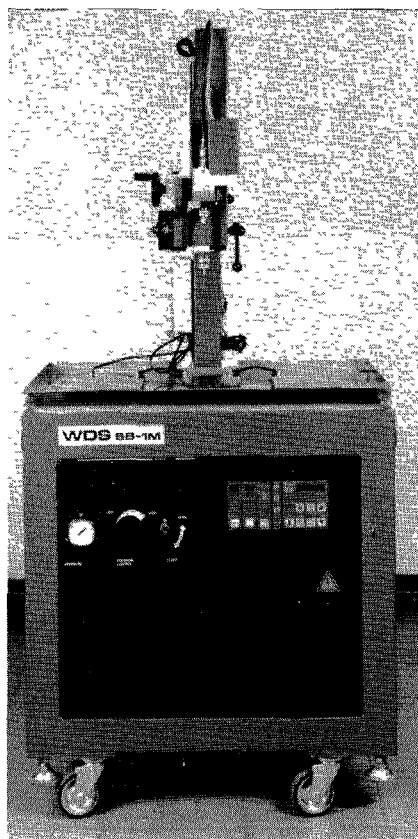
Zogenaamde vonkboormachines (figuur 10) worden, ondanks hun verdiensten in zekere applicatiegebieden (vooral het fabriceren van startgaten ten behoeve van NuBe draadvonken en het voorboren in gemakkelijker te verkrijgen massieve handelsvormen hardmetaal) bewust buiten deze beschouwing gelaten Dit ondermeer vanwege de beperkte inzetbaarheid (doorlopende cilindrische boringen van 300 tot 30 micrometer doorsnede in materiaaldiktes tot 150 mm) en de relatieve onnauwkeurigheid van deze in vonkbegrippen supersnelle boormachines

Een strijdpunt is steeds weer de vraag of een microvonkmachine met de gemiddelde werkstukgrootte overeenkomende afmetingen dient te hebben, met andere woorden klein of groot moet zijn? Tot voor tien jaar was de ontwikkeling uitsluitend gericht op: kleine machines voor kleine werkstukken. Moderne ontwikkelingen in generatoren, servosystemen en bijbehorende aandrijvings-, lagering- c.q. geleidingsconstructies hebben dat beeld gewijzigd Uit ervaring is bovendien gebleken dat een groeiende nei-

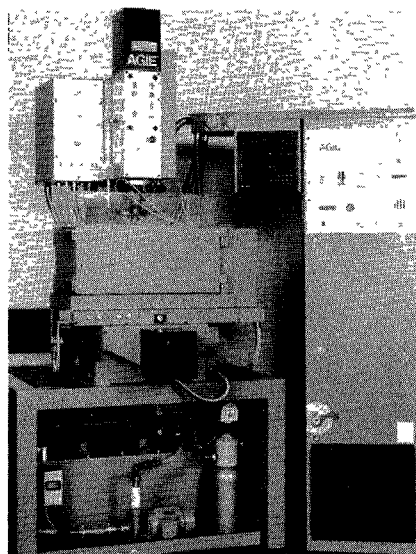
ging bestaat in grotere werkstukken evengoed kleine holtes aan te brengen De nu gebruikte machines bezitten voor die gevallen veel te kleine opspantafels en werkslagen In die zin is "groot" van afmeting erg zinvol Een aantal onlang op de markt gebrachte middelgrote zinkvonkmachines is in staat technisch en economisch verantwoord klein vonkwerk tot in het microbereik te produceren; zie figuur 11. Kenmerkend is dat demiewater als dielektricum dient, hogere open generatorspanningen tot 350 Volt, lage en goed repeterende pulsstromen en zeer korte impulslijden met hoge herhalingsfrequenties (1 à 2 MHz) voorkomen.

Voor het uitvoeren van exclusief microvonkwerkzaamheden geldt echter onverminderd dat een speciaal daarop geconstrueerde microvonkmachine vereist is, zie figuur 12. Een aantal gezichtspunten is daarbij van wezenlijk belang Zelfs indien de apparatuur, ook in mechanisch opzicht volledig ontworpen is met het oog op de micro-nauwkeurigheid die in dit soort werk vereist wordt, verdient het aanbeveling te streven naar een minimaal aantal bewerkingshandelingen of -stappen Aanmaken van de elektrode zoals boven geschetst, is daarvan een eerste gevolg Het uitlijnen en positioneren op de opspantafel in een zodanige positie dat waar mogelijk slechts in één asrichting bewegen hoeft te worden is een ander gevolg Iedere toegevoegde beweging brengt immers onherroepelijk extra fouten, hoe klein ook, met zich mee. In de microvonkmachine van figuur 13, overgenomen van een Japans octrooi[5], zijn deze overwegingen con-

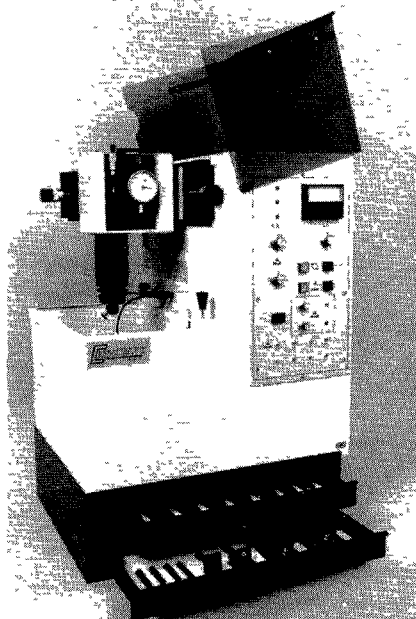
sequent tot uitvoering gebracht Voor het fabriceren van de elektrode, het opspannen en het uitrichten is één bewerkingspositie gedacht In de tweede stand vindt het eigenlijke microvonken plaats. De bedoeling is



Figuur 10 Afbeelding van de speciale WDS vonkboormachine die voor vonkerosie ongekende snelheden mogelijk maakt, en wel voor \varnothing 0,5 mm in staal een lineaire boorsnelheid van 25 mm/min en in hardmetaal van 8 mm/min.

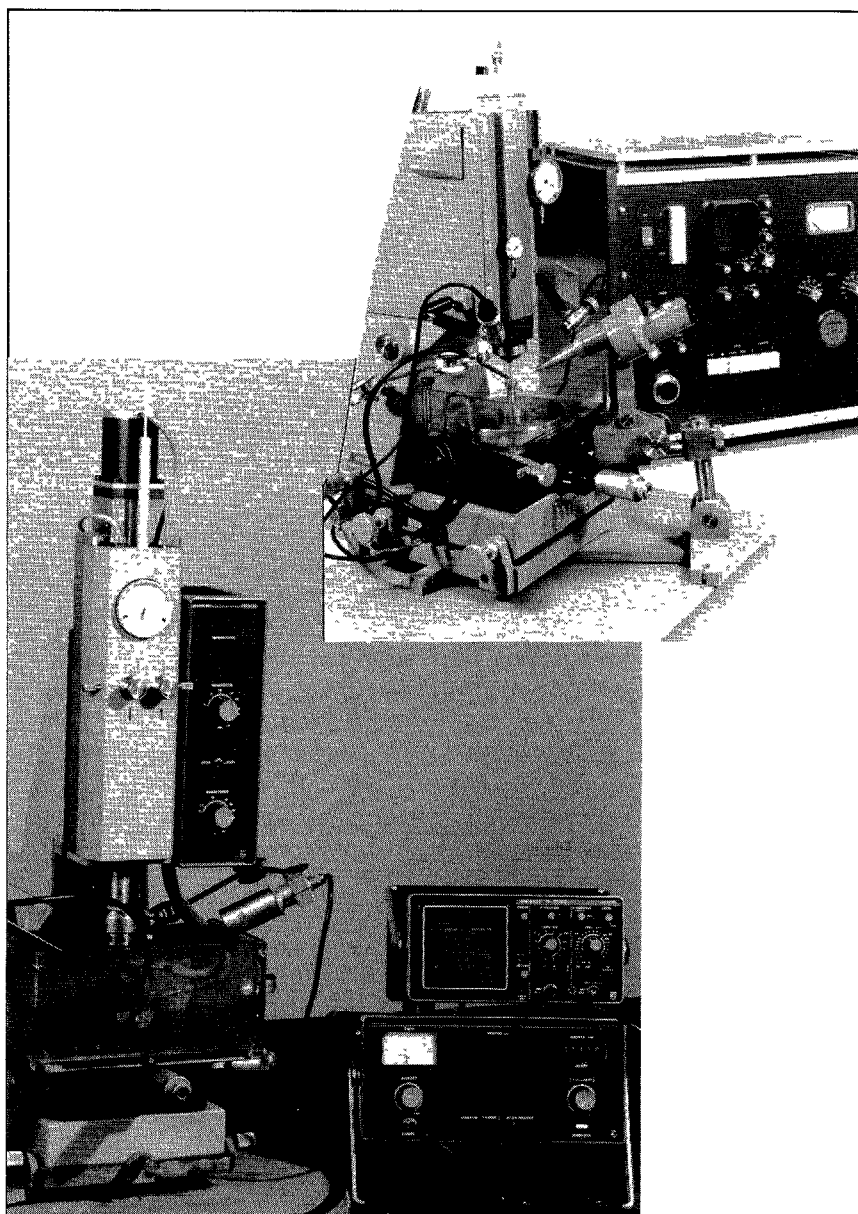


Figuur 11a Een betrekkelijk grote vonk-machine, die toch geschikt is voor kleine en microvonkwerkzaamheden, vormt de Agie-tron EMT 1.10 met LF-generator. Deskundigen zullen onderaan een deioniseerpatroon herkennen, wat betekent dat demie-water het dielektricum is.



Figuur 11b Een machine uit het grensgebied waarvan nog niet vastgesteld werd of microvonken ermee uitvoerbaar is, vormt de Concept MK3, zoals deze noviteit onlangs op de Technishow door SGM werd getoond (generator - (luchtgekoelde, getransistoriseerde pulsgenerator), - mechanisch gedeelte, dielektricumeenheid en servokop samengebouwd tot een compacte eenheid).

dat het werkstuk, zodra uitgericht, nog slechts in de X-richting bewogen wordt. De elektrode kan naast roteren met een instelbare snelheid, alleen op of neer bewegen in de Z-richting met twee snelheden, een voor grofweg (!) op hoogte brengen, de andere voor de



Figuur 12 Twee volwaardige, misschien ietwat bejaarde, Nederlandse vertegenwoordigers uit de wereld van het microvonken; rechtsboven de oorspronkelijke Philips microvonker, links de ondertussen volledig getransistoriseerde snelvonkmaschine.

servogestuurde voeding. Ten behoeve van een verbeterd spoeeffect en een effectievere afvoer van materiaaldeeltjes kan aan de elektrode zijdelings ook een facet gevonkt worden.

De fijn instelbare RC-generator is volkomen nieuw, van de grond af aan opgezet voor het microvonken. Een microprocessor controleert de functies vonkproces, servoregeling en beweringscyclus. De maximale vonkstroombij is 0,3 Ampere bij 40 tot 100 Volt open generatorspanning bij hoge ontladingsfrequenties. De pulsenergie is omstreeks 10^{-6} à 10^{-7} J. Hierdoor kan in dit microbereik een redelijke vonksnelheid behaald worden met acceptabele geometrische kwaliteit en ruwheid. Als voorbeeld een micro-boring van 30 μm in 50 μm AISI 304

roestvaststaal in 20 à 30 sec. Bij de constructie van de roterende vonkkop is grote aandacht besteed aan het minimaliseren van de zogenaamde paracitaire capaciteit in het ontladingscircuit onder andere door een keramisch buisje als houder/geleiding van de elektrode toe te passen. Het goed toegankelijk houden van de instel- en de vonkpositie voor handen en ogen van de vakman/bediener is zeker geslaagd. Een microscoop vormt uiteraard een basiselement van de microvonkmaschine die ondertussen voor flink wat Yen's leverbaar is. Concluderend mag gesteld worden dat er, gezien de in dit artikel naar voren gebrachte apparatuur alsmede de applicaties, momenteel een herleefd interesse voor microvonken bestaat.