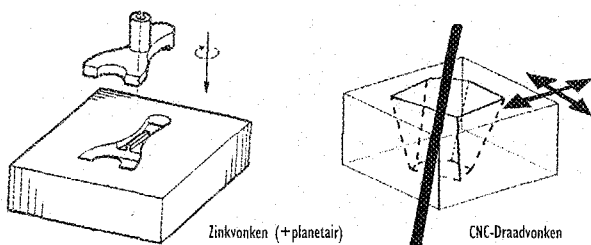


Microvonken, robuuste techniek voor microsystemen

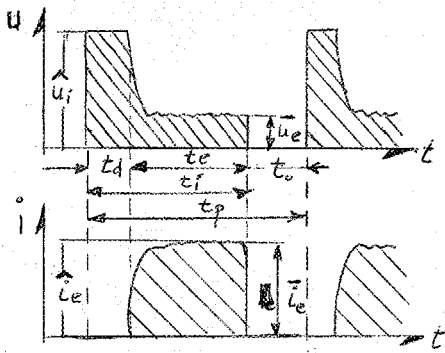
Direct vanaf de ontdekking in het laboratorium van het Russische echtpaar Lazarenko in 1943, dat elektrische ontladingen gecontroleerd in staat zijn materiaal te verwijderen, is vonkverspanen vereenzelvd met microbewerken. Eerste toepassing van verfijnd zinkvonken vormde namelijk de vervaardiging van capillairen, verstuivers en spinkoppen. Microvonken op zich bewees zich vooral in industriële en wetenschappelijke ontwikkelingscentra. Het later afgeleide draadvonken manifesteert zich eveneens opvallend als extreem nauwkeurige techniek voor fijnmechanische miniaturdelen, microboringen en medische instrumenten. In het grensgebied tussen IC-technieken en meer traditionele verspaningsprocessen bewijst microvonken vandaag de dag de geschiktheid voor de microstroomtechniek.

Vonkeroderen of EDM (Electrical Discharge Machining) werd ontdekt bij fundamenteel onderzoek naar slijtageverschijnselen op stroomvoerende contacten. De Lazarenko's vroegen zich af of de daarbij optredende ongewenste verdwijning van materiaal door vonkoverslagen ook gericht toe te passen was. Zij bouwden als eersten ter wereld een servogestuurde opstelling met pulserende ontladingen die vrijwel direct de haalbaarheid van het elektro-

chemische proces bewees. Meest oorspronkelijke vorm is het zinkvonken waarbij een productspecifiek voorgevormde elektrode of vonkdoorn zich driedimensionaal, licht overmaats, maar contactloos, afbeeldt in het werkstuk, onafhankelijk van de hardheid (fig1). Doorslaggevend voordeel is de grote vormvrijheid waarmee zonder menselijk ingrijpen complexe blinde of doorlopende contouren zijn te fabriceren, evenals achterliggende scherpe vormelementen met minimale radii alsmede microscopisch kleine boringen, zelfs in hardmetaal en stalen die bestendig zijn tegen hoge temperaturen. Mechanische verspaning op basis van afschuiving resulteert als meer conventioneel bewerkingsproces veelal in een aanzienlijk hogere snelheid, was echter tot voor kort beperkt tot materialen met een hardheid <40 HRC. Vonken met een standaard draad als baangestuurde vonkdoorn gaf een extra dimensie wat te constateren valt uit de snelle en brede verspreiding van het CNC-draadvonken. Dit moderne proces bezit een zeer hoge inherente precisie die zelfs te behalen is bij toepassing van minieme draaddiameters tot 25 micron toe.



Figuur 1. Principe van zinkvonken (kopiëren voorgevormde elektrode) en draadvonken (bestuurd door lopende vorm uit te snijden).



Figuur 2. Kenmerkende grootheden van een elektrische puls tijdens erosie met een statische puls-generator.

Proceseigenschappen

Materiaalafname vindt plaats zodra een vonkgenerator onder geschikte condities pulserend een te voren bepaalde hoeveelheid energie aflevert ($W_e = \int u_e(t) \cdot i_e(t) dt$) binnen het elektrische circuit dat mede bestaat uit (gereedschap)elektrode en werkstuk(elektrode). Bepalende elektrische grootheden zijn daarbij wat primaire instellingen betreft voornamelijk de polariteit van de elektrode, effectieve pulsduur t_e , open spanning u_i en momentane pulsstroom i_e (fig.2). Secundair als parameter en daarmee vooral voor de fijnafstemming van het vonkproces, zonder merkbare invloed op maat of ruwheid zijn pauzetijd t_o , servo-instellingen, spoel- en bewegingsfactoren. Normaliter wordt het proces servogestuurd over de actuele grootte van de met diëlectricum gevulde vonkspleet tussen werkstuk en vonkdoorn. Tegenwoordig worden daarnaast ook andere sensoren gebruikt zoals bijvoorbeeld de tendens die te onderkennen is uit de opeenvolgende ontsteekvertragingstijden t_d , (erosie, kortsluiting, boogvorming en open situatie als afzonderlijke pulssoort herkenbaar). Na aanvankelijk de roterende generator en types op basis van condensatorbanken past men nu overwegend gestuurde pulsgeneratoren toe uit micro-elektronische halfgeleiders. Onderzoekers waaronder de Nederlanders de Bruin (TU-Delft) en Heuvelman (TU-Eindhoven) onderkennen vroegtijdig het grote belang van alternatieve puls vormen, onder meer gerelateerd aan elektrodeslijtage en verspaningsnelheid.

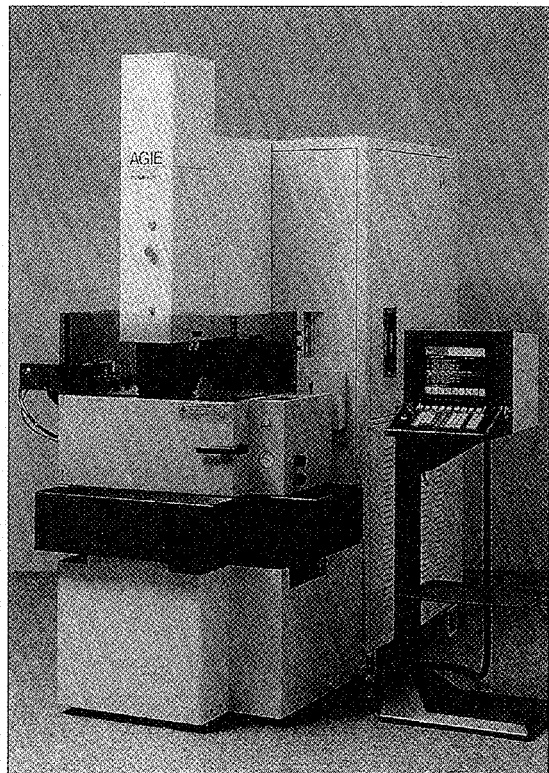
Technologische parameters

Alhoewel een betrekkelijk groot aantal variabelen invloed uitoefenen op het vonkproces bepaalt de pulsstroom (typisch 1- 45 A, pulsduur (2 ms - 2 μ s) en herhaalfrequentie (200 Hz-150 kHz) voornamelijk de materiaalafname per tijdseenheid (mm^3/min). Deze kenmerkende normale technologiewaarden gelden voor microvonken niet meer. Hier spreekt men van kleine elektrodes (<10 mm^2), een vonkspleet in het micrometerbereik (<10 μm), de ruwheid R_a ligt beneden 0,25 μm en de positioneer-nauwkeurigheid is beter dan 5 μm . Meest frequent voorkomende instellingen van de generator bij de gangbare rechthoekige pulsen liggen gemiddeld bij een stroomsterkte <2 Ampère, een pulsduur <2 μs en een herhalingsfrequentie <<250 kHz. Door het geringe elektrode-oppervlak dat actief erodeert zouden de oorspronkelijke instelparameters een onrustig proces veroorzaken met uitzonderlijk hoge sleet. Bij dergelijke voorzichtige technologiewaardes is van beïnvloeding in de randzone van het te bewerken product nauwelijks meer sprake, zodat zelfs een microscoopopname van

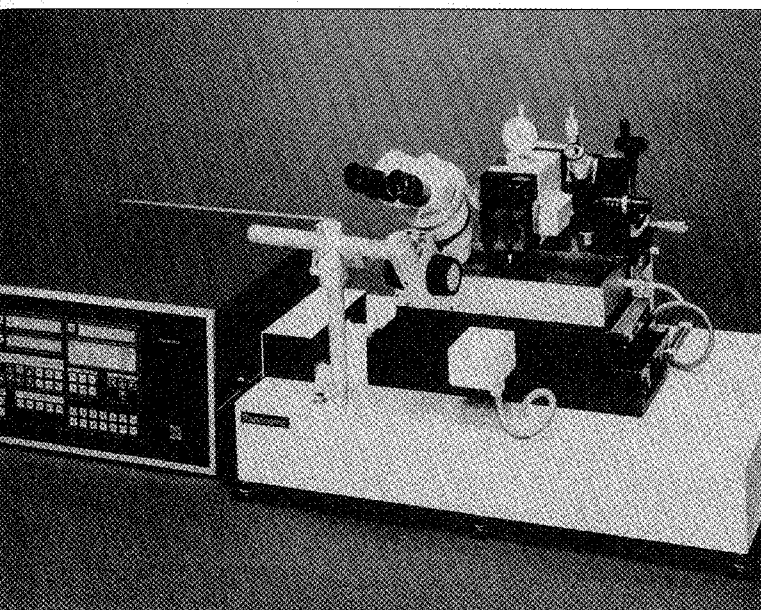
een SEM vrijwel geen beschadigingen toont. Van nature heeft draadvonken daarentegen harde, korte pulsen, dat wil zeggen men werkt in de eerste snede met pulsen korter dan 1 μs en relatief hoge stroomsterktes (piek tot 250A) die in meerdere beweringscycli getrapt worden afgebouwd. Vanwege de ultrakorte ont-ladingen wordt een ten opzichte van normaal zinkvonken omgekeerde polariteit toegepast, die bewerkingstechnisch een beter resultaat oplevert. Om in genoemde superkorte tijdsintervallen het ingestelde minieme Ampèrage effectief te kunnen overbrengen past men, met alle consequenties van dien, hierbij gedeïoniseerd of (ge)demi(neraliseerd)-water toe, in plaats van een olie-achtige vonkvloeistof (op koolwaterstofbasis) bij het laagfrequentere zinkvonken. Demiwater laat snelle doorlagen toe, maar verhoogt de kans op ongewenste parasitaire lekstromen, zeker als het om grotere elektrodes gaat. Bovendien treedt vrij snel corrosie op. Alhoewel hier proces en machine de meeste nadruk krijgen, moet de positieve invloed op het uiteindelijke eindresultaat duidelijk zijn van een goed opgeleide vakman met het gevoel voor microwerk en een voldoende conditionering van de hele bedrijfsruimte of (met de huidige volledige omkapping van de machine) van het totale werkbereik.

Universeel of dedicated

De discussie over de constructie van een microvonkmachine lopen in twee richtingen. Een universele standaard zinkvonker

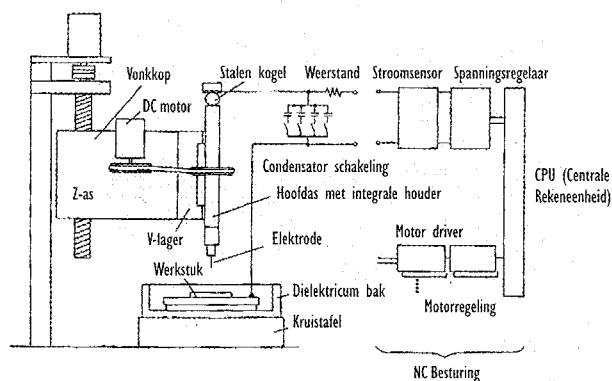


Figuur 3. AGIE Compact I, voorbeeld van één van de weinig middelgrote zinkvonkmachines met microkit voor het allerfijnste zinkvonken. (Foto AGIE)

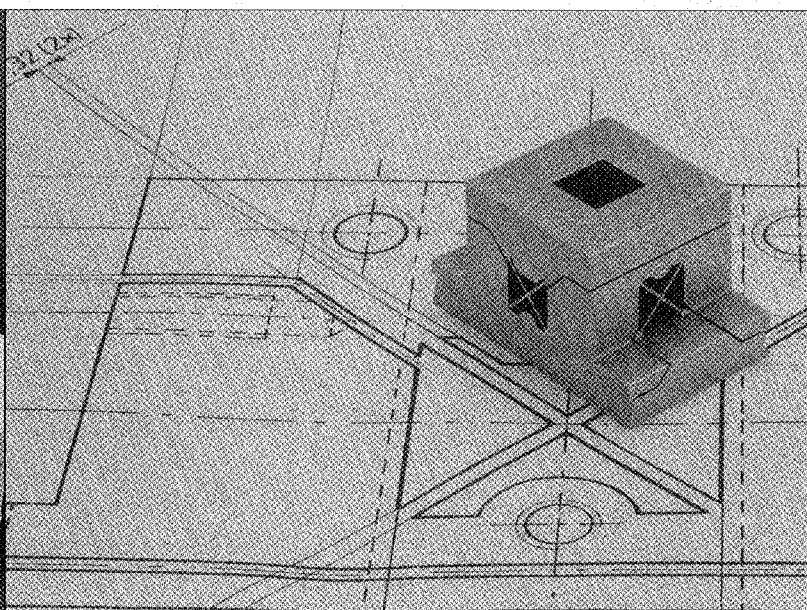


Figuur 4. De Panasonic MG-ED07 is speciaal ontworpen voor het met hoogste precisie Vonkboren van bijvoorbeeld inkjetnozzles van 15 (m tot 300 (m, (Foto Matsushita Lab)

uitgerust met een aantal daarvoor speciaal ontwikkelde opties (fig3) biedt grote flexibiliteit qua werkbereik en generatorinstellingen, maar vaak geen optimum wat specifiek microvonken aangaat. Aan de normale configuratie van een zinkvonkinstallatie bestaande uit mechanische gedeelte (de machine), elektrische voeding (de pulsgenerator), servosysteem (vonkkop), elektrode-opspanning, vonkvloeistofeenheid (diëlectricum aggregaat) en al of niet een besturingsunit (CNC-besturing) wordt dan bijvoorbeeld een precisie rotatiekop toegevoegd voor bovennormale toerentallen (tot 3000 min⁻¹) met inwendige hogedruk spoeling (<10bar) alsmede een extra voedingskaart voor laag energetische, korte impulsen. Bij diepe boringen of seriewerk heeft een extra arm voorkeur met een verstelbare steun vlak boven het oppervlak voor lange dunne massieve en holle elektrodes. Blijft staan dat de generator zich meestal langs of achter de vonkkop bevindt en met betrekkelijk lange snoeren verbonden is met de opname van de vonkdoorn. Dat resulteert ter plaatse van de elektrode in verlies aan toch al geringe pulsstroom en op termijn door veroudering in minder flexibele leidingen. Recht daar tegenover staat een microvonkmachine puur voor verfijnd klein werk ontworpen en



Figuur 4b. Blokdiagram van de Japanse u-vonker (figuur 6a)

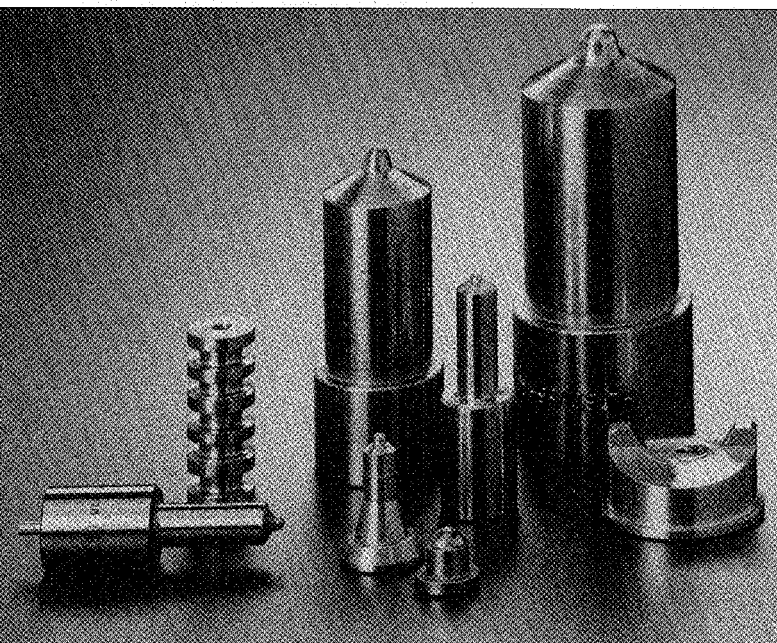


Figuur 5a. Precisie positioneertafel op basis van flexibele scharnieren die volledig gedraaid vonkt.

gebouwd (fig4), vaak meteen te zien aan de aanwezigheid op de microvonker van een (stereo)microscop. Bij voorkeur bevindt de HF-generator zich vlakbij of nog beter in de verticaal gemonteerde servokop met micrometer fijne resolutie. Verlies in leidingen treedt dan niet meer op, bijgevolg krijgt men daadwerkelijk de ingestelde spanning en stroom over op elektrode en werkstuk. De aangepaste pulsvoeding is qua concept 100% toegespitst op de condities van microvonken, bijvoorbeeld met speciale ultrakorte pulsen waarvan de ontsteekpuls separaat wordt toegevoerd of de vorm gemodificeerd. Daarmee is het vonken van bepaalde soorten silicium binnen bereik gekomen. Deze zeer sterke maar brose halfgeleider blijkt voor bepaalde applicaties binnen de micro-systeemtechniek (sensoren, versnellingsopnemers, actuatoren enzovoort) een erg aantrekkelijk constructiemateriaal te zijn. Vonken biedt dan meer vormvrijheid bij grotere materiaaldiktes dan etsprocessen en blijkt in de fabricage met deze laatste goed te combineren. Voor wat grover werk is een extra vermogenskaart om nog voldoende snel te kunnen vonken. Een strijdpunt vormt het praktisch bruikbare werkbereik. Weliswaar is namelijk bij echt microvonken sprake van filigraan contouren, deze doen zich echter meestal voor in producten met normale afmetingen. Kleine slagen in X-, Y- en Z-as richting en een dito opspanvlak brengen in de praktijk moeilijkheden met zich, waarvandaan het aan te bevelen is bij aankoop te letten op wat ruimere bewegings- en spanmogelijkheden ((200x150x150mm). Verschillende toepassingen zijn bekend binnen het microvonken in de productie waarbij zelfs meervoudig (tot 4x toe) tegelijk microboringen van circa Ø12-15µm gevonkt worden.

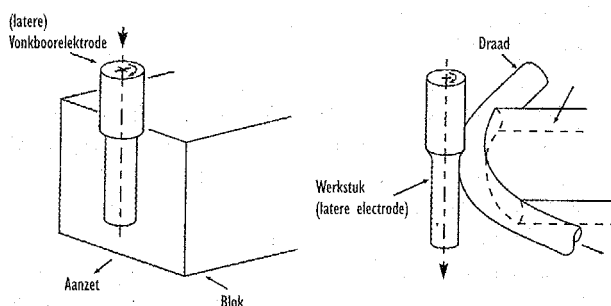
Elektrode-aanmaak en -manipulatie

De fabricage van micro-elektrodes (voor werkstukken met kleine dimensies (fig5) als bijvoorbeeld dieselinjectors, precisiedelen voor spuitgietmatrijzen, IC-gereedschap, fijnmechanische componenten als minisensoren en -motoren, micromanipulatoren, fijne vertandingen en in toenemende mate medische instrumenten als miniatuur tangetjes en operatiegereedschap, micropompjes en



Figuur 5b. Moderne voorbeelden van oorspronkelijke toepassingen van het microvonken van sproeiërs, verstuivers en injecteurs. (Foto Posalux)

katheteronderdelen) en het gestructureerd ermee omgaan is en blijft een heikel aspect. Door minimale afmetingen en zwakkere uitgangsmaterialen als E-koper, messing en grafiet zijn de hierbij gebruikelijke contouren met een grote lengte over diameter verhouding moeilijk verspanend te fabriceren als gevolg van optredende bewerkingskrachten. Veelgebruikt is daarom de contactloze methode om met een beheerste aanzet van de roterende elektrode verticaal langs een blok of draad te bewegen (fig6), zonder enige krachtinbreng. L/D-verhoudingen >25 zijn nagenoeg moeiteloos haalbaar. Vanzelfsprekend moet zijn dat de aanmaak dient te gebeuren op dezelfde houder als waarmee later gevonkt gaat worden. Het opspannen van kleine profieltjes, draadjes en buisjes is los van een opspansysteem met axiale nulpositie, al of niet over een adapter, een tijdrovende en zenuwslopende handeling met grote kans op beschadiging. Tegenwoordig kan men na wat zoeken via externe leveranciers zowel geschikte mini- en microspanmiddelen als bepaalde veel gebruikte mini-elektrodes in bv. wolfram en hardmetaal geleverd krijgen. In het microvonken doen zich bij tijd en wijlen tot nu toe niet opgetreden problemen voor doordat microscopisch kleine fouten, als porien en isolerende insluitels, in het uitgangsmateriaal blijken te zitten.



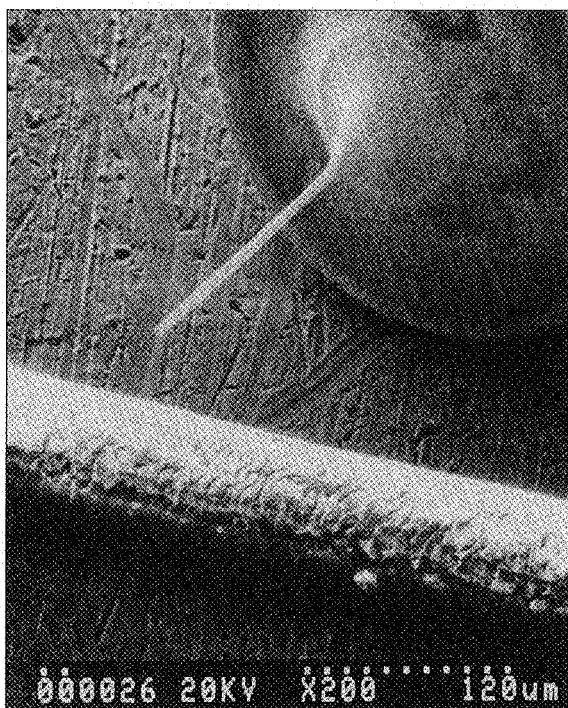
Figuur 6a. Principe van het op maat vonken van miniatuur elektroden, langs een geslepen blok (links) of een draad op een geleider.

Microdraadvonken

Een CNC-draadvonkmachine voor microvonkwerkzaamheden aan bijvoorbeeld lead-frame stempels, kenmerkt zich in het bijzonder door een sterk geperfectioneerde draadhantering. Omgang met kleinste draaddiameters in orde grote van menselijk haar (70-25µm) vergt een vaste hand, geselecteerde draad, continue en stabiele draadloop en aangepaste, constante procescondities. Tot voor kort bouwde men een voltooid machineconcept uit de lopende serie om voor allerfijnste oppervlaktegesteldheden, maximale precisie en inzet van dunste draden. De standaard bij de machine geleverde draadvonktechnologie is voor normaal gebruik zeer goed vastgelegd (precisie ± 0,001mm, ruwheid 0,1µm Ra).

Instituten en fabrikanten werken hard aan het voorspelbaar en bedrijfszeker maken van het EDM-snijden met normaal nauwelijks hanteerbare draadjes. Momenteel manifesteren zich enkele (vooral vooraanstaande Japanse) machinefabrikanten met dedicated machines voor microdraadvonken. Daarbij worden constructief en procestechnische volkomen nieuwe wegen bewandeld. Typisch zijn hierbij het vrij beperkte opspanvlak en de relatief korte verplaatsingen die de hoofdasen kunnen maken.

Automatisch invoeren van genoemde draaddoorsneden verloopt met een zekerheid tegen 100% aan. Interessant is de stand van de draad en daarmee van het werkstuk dat in één geval niet meer de horizontale stand heeft maar verticaal hangt. Last van het uitvalstuk heeft men zodoende niet meer, ook in het geval men niet, zoals tegenwoordig gebruikelijk is tijdens onbemand draadvonken, restloos wegvonkt met 'pocketing'.



Figuur 6b. De met het in figuur 6a getoonde principe gevonkte wolfram elektrode van (10 µm met een lengte van 120 µm voor microvonkboren. (Foto Matsushita Lab)