

Serieproductie van motor en tandwielkast

Micromotor van 1,9 mm

U. Berg, M. Begeman, B. Hagemann, K.P. Kaemper Een betrouwbare en krachtige geminiaturiseerde aandrijving is ontwikkeld, bestaande uit een micromotor met een diameter van 1,9 mm en een bijbehorende opsteektandwielkast. De aandrijving wordt in kleine series aangemaakt voor industriële toepassingen.

De motor heeft een maximum koppel van $7,5 \mu\text{Nm}$ en een maximum toerental boven 100.000 omw/min. De bijpassende vertragingskast heeft een vertraging van 47 en levert een koppel van $300 \mu\text{Nm}$ aan de uitgaande as. De gemiddelde levensduur bedraagt meer dan 1000 uren. De fabricage van de motor berust op het toepassen van conventionele fijnmechanische technieken. Voor de fabricage van de tandwielkast is tevens LIGA-techniek toegepast.

De ontwikkeling van een passende assemblagetechniek bleek de bepalende factor voor de kwaliteit en de levensduur van het systeem.

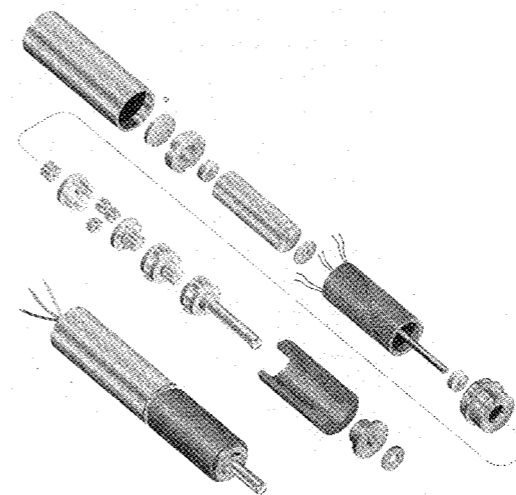
Door toepassingen in de medische technologie, telecommunicatie, consumenten elektronica en vele andere vakgebieden is er vraag naar zeer betrouwbare en krachtige miniatuurmotoren. De in dit artikel beschreven micromotor met bijbehorende vertragingskast is door het Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH in nauwe samenwerking ontwikkeld met de motorfabrikant Dr Fritz Faulhaber GmbH & Co KG [1, 2]. Sinds oktober '97 worden ze in kleine series op industriële schaal gefabriceerd.

Motorontwerp

Hoofddoelen bij het ontwerp van de micromotor waren:

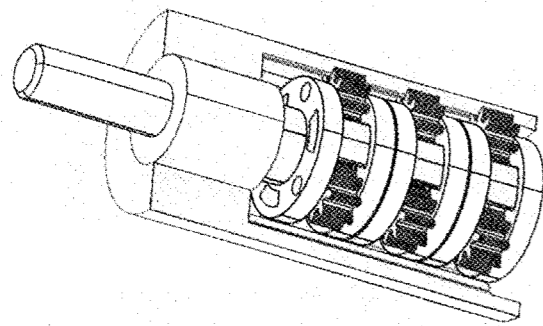
- optimalisatie van het mechanisch vermogen,
- minimalisatie van de rimpel op het koppel,
- makkelijk te hanteren en betrouwbare mechanische bevestiging.

De motor bestaat uit een rotor, van diametraal gemagnetiseerde magneet uit zeldzame aarde, omhuld door een spoel die een draaiend magnetisch veld genereert. De spoel wordt bekrachtigd met een 3-fase wisselspanning. Een zwakmagnetische buis waarin de spoel gemonteerd wordt, dient gelijktijdig als behuizing en als anker voor het sluiten van de magnetische flux. De rotor wordt op een stalen as (ca 0,2 mm, red.) geperst die in twee saffieren gelagerd wordt, één aan elke zijde van de motor. Om de diameter van de motor zo klein mogelijk te houden, is voor de behuizing een materiaal gekozen dat hoge magnetische verzadiging combineert met zeer lage coërciviteit. Deze combinatie leidt tot een hoog rendement en een laag energieverbruik.



Figuur 1.
Micromotor van 1,9
mm doorsnede met
opsteektandwielkast.

Alle mechanische onderdelen van de micromotor zijn met conventionele fijnmechanische technieken gemaakt. De 3-fasenspoel, bijvoorbeeld, is geproduceerd op een semiautomatische wikkelmachine uit koperdraad van 40 µm dikte. Met een diameter van 1,9 mm en een lengte van 5,5 mm is de motor klein genoeg voor toepassing in katheters, endoscopen, miniatuur positionersystemen en miniatuur scannersystemen. De motor heeft een maximum koppel van 7,5 µNm en een maximum toerental boven 100.000 omw/min. Om het motorvermogen te transformeren naar een hoger koppel en een lager toerental kan een tandwielkast worden aangebouwd. Aan de keuze van het type tandwielkast en het type veranding is veel zorg besteed. Op grond van fabricagetechnische en rendementsoverwegingen is gekozen voor een drietraps planetaire epicyclische tandwieloverbrenging met dezelfde diameter als de motor en een lengte van 3,7 mm. Het rendement ligt op ongeveer 50% (circa 80% per trap) en de verdragingskast kan kortstondig een koppel van 300 µNm leveren.



Figuur 2. Planetaire tandwielkast met drie trappen

Fabricage van de componenten

De epicyclische tandwielkast bevat 17 onderdelen die allemaal door microsputgieten zijn gemaakt van de kunststof POM. Daarnaast nog een centerloos geslepen as en een draaiend vervaardigde lagerbus uit messing. De spuitgietmatrijs van de tandwielen is gemaakt met LIGA-proces [4] om de gewenste

hoge nauwkeurigheid van de tandwielen (moduul 55µm) te realiseren. Door het toepassen van LIGA-techniek voor het vervaardigen van matrijzen is een nieuwe kwaliteitsstandaard bereikt voor het spuitgieten van fijne microstructuren met een hoog aspectratio (breedte/dikte verhouding). In tegenstelling tot andere microbewerkingstechnieken, zoals vonkverspanen (EDM), zijn de oppervlakken die met LIGA-techniek zijn vervaardigd zo glad, dat de producten zelfs uit de matrijs komen als de wanden van de matrijs haaks op het oppervlak staan.

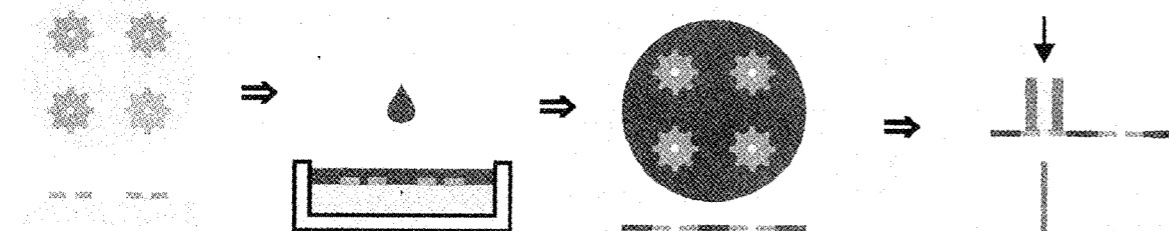
De eerste kleinserieproductie van de tandwielkastonderdelen, zoals de planeetwielen met een diameter van 500 µm, werd vervaardigd met een matrijs waarin een enkel nest onderdelen was geëtst. De onderdelen werden na het spuitgieten met de hand uit de matrijs genomen. Onlangs is een nieuw matrijsgereedschap in gebruik genomen, dat automatisch de onderdelen uit de matrijs stoot.

• Micro-sputgieten

Op dit moment wordt een innovatief spuitgietprocedé ontwikkeld door het IMM [5] dat geschikt is voor grootserie fabricage tegen werkelijk lage kosten. Dit procedé berust op de batchgewijze productie van een groot aantal microcomponenten op een gemeenschappelijke drager. Het tijdrovende en daardoor zeer kostbare verwijderen van de individuele producten uit de matrijs is vervangen door het uitstoten uit een drager waarop alle componenten zitten, zie figuur 3. Om de individuele micro-onderdelen los te nemen worden de volgende stappen uitgevoerd:

- de drager met onderdelen wordt overgoten met een polymeer (bijvoorbeeld een epoxyhars) dat zo gekozen is dat het zich slechts in geringe mate aan de microcomponenten hecht;
- de drager wordt nu mechanisch van de microcomponenten verwijderd (bijvoorbeeld door fre-

Figuur 3. Spuitgietprocedé ontwikkeld voor batchgewijze productie van micro-componenten

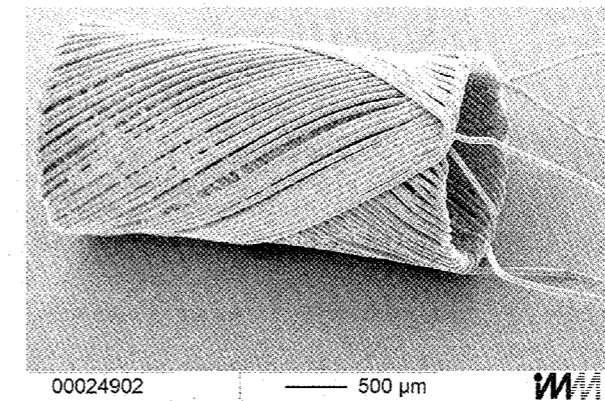


zen). Door tweezijdig te frezen zitten de micro-componenten veilig in het polymeer opgesloten, waar ze later eenvoudig uitgedrukt kunnen worden; De nu ontstane plak polymeer met micro-onderdelen gaat vervolgens dienen als magazijn voor de toevoer van onderdelen bij montage. Door het ingieten blijft de oriëntatie en de volgorde van de componenten behouden zoals die bij het micro-sputgieten is bepaald door de matrijs. Dit vereenvoudigt de latere assemblage aanzienlijk omdat de onderdelen in de juiste oriëntatie en volgorde worden aangevoerd en slechts uit de drager gedrukt hoeven te worden.

• Micro-assemblage

De micro-assemblagemethode die hier wordt beschreven was ontwikkeld voor klein-serieproductie. Het omvat het gecentreerd monteren van rotor en as met een nauwkeurigheid in het micrometergebied, het afstellen van de saffierlagers en een methode voor het koppelen van de metalen motor met de tandwielkast van polymeer.

Figuur 4. Drie fase motorspoel, gewikkeld met conventionele techniek uit koperdraad met een dikte van 40 µm.



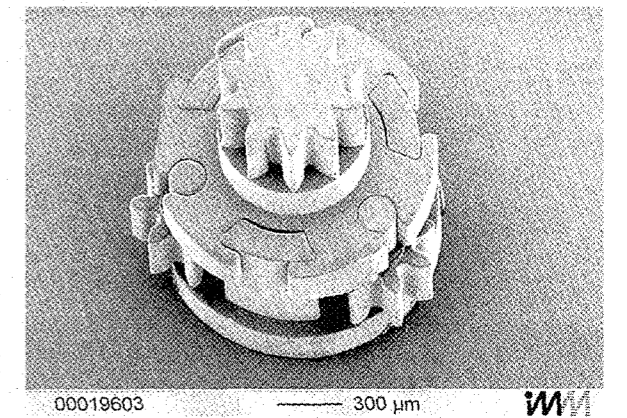
Rotor

De rotor bestaat van een sterke magneet uit zeldzame aarde en een geslepen stalen as. Om de magneet met een minimale excentriciteit op de as te kunnen bevestigen zijn twee methoden toegepast. Voor de eerste prototypen werd een perspassing toegepast. Bij de latere serieproductie bleek deze methode echter onbruikbaar omdat diverse van de gesinterde magneten braken onder de hoge perskracht. Bovendien bleek het nauwkeurig gecentreerd boren in het magneetmateriaal uitermate moeilijk. Daarom werd overgeschakeld op het lijmen van de as in een iets ruimer gebord gat. Voor het precies centreren van de as in de rotor werden hulpstukken toegepast, zodat de as ook goed centrisc in het midden werd verlijmd als de boring in de rotor iets excentrisch was.

De hulpstukken bestonden uit twee bussen met een goed gecentreerde boring die gelijk was aan de asdiameter en een buitendiameter die gelijk was aan de buitendiameter van de rotor. Bij het inlijmen van de as werden de asuiteinden in de hulpstukken gestoken, waarna rotor en hulpstukken in een V-blok werden gelegd. Daardoor werd de as precies gecentreerd in de rotor en kon de lijm drogen.

Lagering

Het lager aan de achterzijde van de motor, de zijde waar de elektrische aansluitdraden naar buiten komen, wordt geassembleerd door het saffierlager in een messing lagerdeksel te persen. Vervolgens wordt een dun, vlak plaatje saffier tegen het messing deksel aangeplakt, zodat een taatslager ontstaat dat de axiale krachten op de motoras kan opnemen.

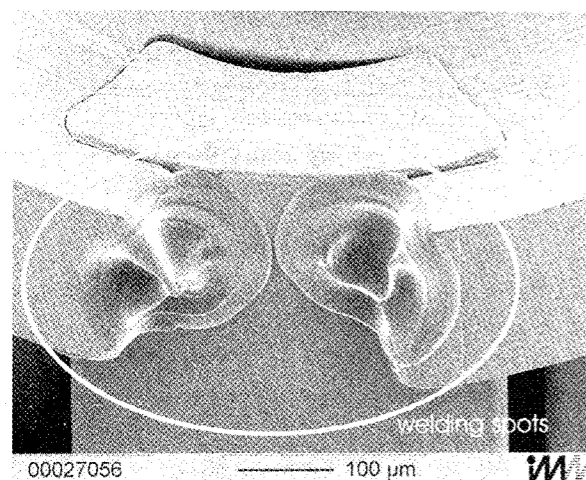


Figuur 5. Een van de drie trappen van de planetaire tandwielkast

• Tandwielkast

De eerste stap bij het assembleren van de tandwielkast is het assembleren van de planeetwiel drager. De onderste helft van de planeetwiel drager bestaat uit drie assen voor de planeetwielen en de planeetwielen zelf, zie figuur 5. In de bovenste helft van de planeetwiel drager worden de assen (diameter 180 µm) van de planeetwielen ondersteund tegen doorbuiging. Bij de eerste twee trappen van de tandwielkast bevat de bovenste helft van de drager ook een zonnwiel dat later in de volgende trap grijpt. De uitgaande as is een integraal deel van de derde trap en komt in de plaats van het zonnwiel. Elke tandwieltrap verbindt dichtgelast, zie figuur 6, zodat een stabiele verbinding tussen bovenste en onderste helft ontstaat [6].

Figuur 6.
De tandwieltrap wordt dichtgelast zodat een stabiele verbinding tussen bovenste en onderste helft ontstaat



Bevestiging tandwielkast op motor

De drie trappen van de tandwielkast worden in een buis gestopt die een inwendige vertanding heeft, verkregen door het spuitgieten in POM. Deze vertande buis wordt op een flens aan de voorkant van de motor geperst. De flens heeft een groef waar een rand aan de vertande buis in klikt, zodat een mechanisch stabiele verbinding van motor en tandwielkast ontstaat.

Testen op levensduur

Om tenminste een levensduur van 1000 uren te kunnen garanderen zijn intensieve proeven uitgevoerd. Bij deze tests zijn onder andere de saffierlagers vergeleken met miniatuur kogellagers op aspecten als kosten, assemblagemogelijkheden, wrijvingsverliezen en levensduur. De onderzoeksresultaten toonden eenduidig aan dat bij dezelfde afmetingen en toerentallen de wrijvingsverliezen in kogellagers aanzienlijk hoger zijn dan in saffierlagers. Bij gebruik van een goede smering bleek de combinatie van stalen as met saffierlager bijzonder stabiel. Na vele duizenden uren continu in bedrijf te zijn geweest was er geen zichtbare slijtage van de saffierlagers. Om die reden kozen we voor het gebruik van saffierlagers voor de constructie van onze micromotoren [7].

Hoe nu verder?

De ontwikkeling van een micromotor met een diameter van 1,9 mm met geïntegreerde tandwielkast is slechts de eerste stap in de ontwikkeling van een hele serie nieuwe aandrijfsystemen. Verdere ontwikkelingen zijn gericht op toepassing van micro-aandrijfsystemen voor miniatuur lineaire positionersystemen, micropompen en servosystemen. Zij omvatten tevens de ontwikkeling van motorisch aangedre-

ven spiegels en schroefspillen voor lineaire aandrijving van bijvoorbeeld microrobots.

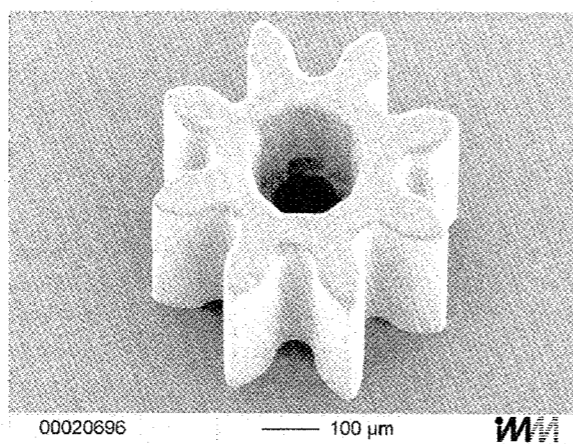
Auteursnoot

U. Berg, M. Begeman, F. Michel, L. Weber, Th. Wittig, Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH, Mainz Duitsland. B. Hagemann, Berger Lahr GmbH & Co. KG, Lahr, Duitsland. K.P. Kaemper, Hogeschool Aken, Aken, Duitsland. C. Thüringen, Dr Fritz Faulhaber GmbH & Co KG, Schönau, Duitsland.

Dit artikel [8] is vertaald met toestemming van de auteurs.

Noot

Voor de boringen van de planeetwielen zijn polygone boringen met 10 facetten toegepast, zodat slijtagegedeeltes een plaats kunnen vinden in de 10 kamertjes die daardoor zijn ontstaan. Bij poreuze lagers in combinatie met een ronde as wordt de statische wrijving aanzienlijk gereduceerd en de levensduur verlengd [10]. Figuur 7 [9] voor het planeetwiel, diameter kopcirkel 560 µm, dat vervaardigd is met LIGA-techniek. Met deze techniek is het mogelijk matrijzen te maken waarbij de tandflanken over de volle breedte evenwijdig aan de as lopen en dus loodrecht op het zijvlak staan. De maximum bereikte diepte voor een tandflank was 2300 µm met een oppervlakte ruwheid van $h_{rms} = 40$ nm. Door deze lage ruwheid kunnen de tandwielen makkelijk uit de matrijzen worden verwijderd, ondanks dat de tandflanken loodrecht op het zijvlak staan en niet lossend zijn. Montage van de onderdelen gebeurt in een clean room van klasse 100 tot 1000 om geen last te hebben van stofdeeltjes. De montage gebeurt in kleine series met de hand onder een stereomicroscop met traploos instelbare vergroting.



Figuur 7.
Facetten in de boring bevorderen de levensduur.

Literatuur

- [1] B. Hagemann: *Entwicklung von Permanentmagnet Mikromotoren mit Luftspaltwicklung*, thesis, University of Hannover, Germany, 1998.
- [2] C. Thüringen, W. Ehrfeld, B. Hagemann, H. Lehr, F. Michel: *Development, Fabrication and Testing of a multi-stage Micro Gear System*, Proceedings Tribology Issues Opportunities in MEMS, Columbus, Ohio, 1997.
- [3] U. Beckord, 'Entwicklung mikrotechnischer Kleinantriebe', Proceedings Micro-Engineering 97, Stuttgart, 1997.
- [4] W. Ehrfeld, H. Lehr, 'Deep X-Ray Lithography for the Production of three-dimensional Microstructures from Metals, Polymers and Ceramics', Radiation Physics and Chemistry, 45 (1995) 3, p. 349.
- [5] L. Weber 'Innovative Produktionstechnologien für das Spritzgießen von Klein- und Mikrostrukturbauteilen aus Kunststoff', Proceedings IKV - Seminare zur Kunststoffverarbeitung, Aachen, Germany, 1997.
- [6] F. Michel, W. Ehrfeld: *Microfabrication technologies for high*

- performance microactuators*, Proceedings Tribology Issues Opportunities in MEMS, Columbus, Ohio, 1997
- [7] U. Beckord, R. Bessey 'Mikromotoren gewinnen Schwung', F&M Feinwerktechnik Mikrotechnik, (1997) 11-12 p.850-852
- [8] U. Berg, M. Begemann, B. Hagemann, K.P. Kämper, F. Michel, C. Thüringen, L. Weber, Th. Wittig, 'Series production and testing of a micro motor', Proc. 6th Int. Conf. on New Actuators 1998 p 552
- [9] C. Thüringen, U. Beckord, R. Bessey, F. Michel, 'Design rules and manufacturing of micro gear systems', Proc. 6th Int. Conf. on New Actuators 1998 p 572
- [10] W. Krause, 'Konstruktionselemente der Feinwerktechnik', Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1993.

Dr Fritz Faulhaber GmbH & CO. KG wordt in Nederland vertegenwoordigd door Amroh BV, Weesp.
Telefoon 0294 450450, fax 0294 412782





Test & Kalibratie Service

Specialisten in kalibraties op locatie:

- * Van -40°C tot 1100°C;
- * Ovens, galvanische baden, klimaatkasten, vries- en koelruimten
- * Regel- en registratieapparatuur
- * Thermokoppels en PT- elementen
- * Uitsluitend met NKO-gecertificeerde standaarden

tel : 072-5337117 fax: 072-5340805

Adverteren in

Mikroniek

Buro Jet bv

tel: 070 - 3990000

fax: 070 - 3902488