

Een luchtgelagerde precisiespil

Ir. J.M. Deurwaarder

In overleg met Hembrug B.V. te Haarlem is onder verantwoording van Philips Machinefabriek Acht een luchtgelagerde hoofdspil ontworpen en gebouwd voor de Hembrug ultraprecisie-draaimachine, zie figuur 1. Met een diamantbeitel kunnen op deze machine computerdisks worden nagedraaid met een vlakheid beter dan 100 nm. Het produktietempo bedraagt 1 - 3 disks per minuut en de spil is daarbij bestand tegen continubedrijf (3 ploegen, 24 uur per dag).

Om tot deze prestatie te kunnen komen, heeft Hembrug de volgende specificatie voor de spil opgesteld:

- radiale stijfheid > 230 N/ μm
- axiale stijfheid > 460 N/ μm
- rondlooptrouwkeurigheid, zowel radiaal als axiaal $\leq 0,05 \mu\text{m}$
- kantelfout < 0,3 boogseconde
- bedrijfstoerental 6000 min^{-1}
- start/stop-tijd < 4 seconden

Bij het opstellen is vanzelfsprekend rekening gehouden met de haalbare eigenschappen en toleranties van de overige onderdelen van de machine.

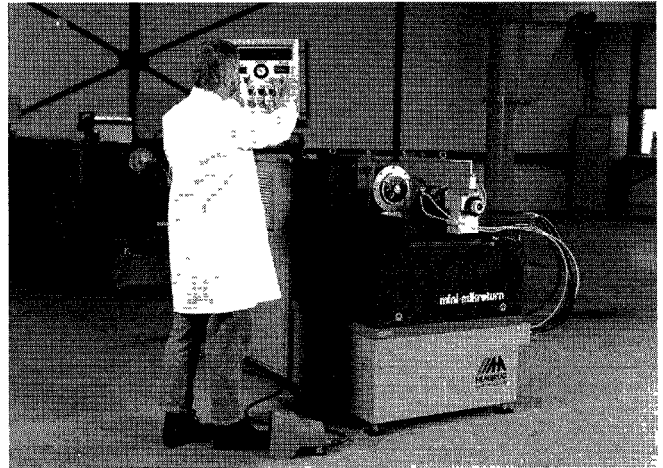
Naast deze specificaties die direct voortkomen uit de eisen aan het produkt, komen een aantal eisen die samenhangen met het bewerkingsproces en de omgeving, zoals:

- relatief korte productiecycclus, variërend van 20 tot 60 seconden, met de daaruit voortvloeiende discontinue mechanische en thermische belasting;
- snel wisselen van werkstukken maakt een vacuümspanmiddel wenselijk;
- produkten moeten op de machine gereinigd kunnen worden;
- de spil moet, met behoud van precisie, bestand zijn tegen continu-bedrijf.

Het concept

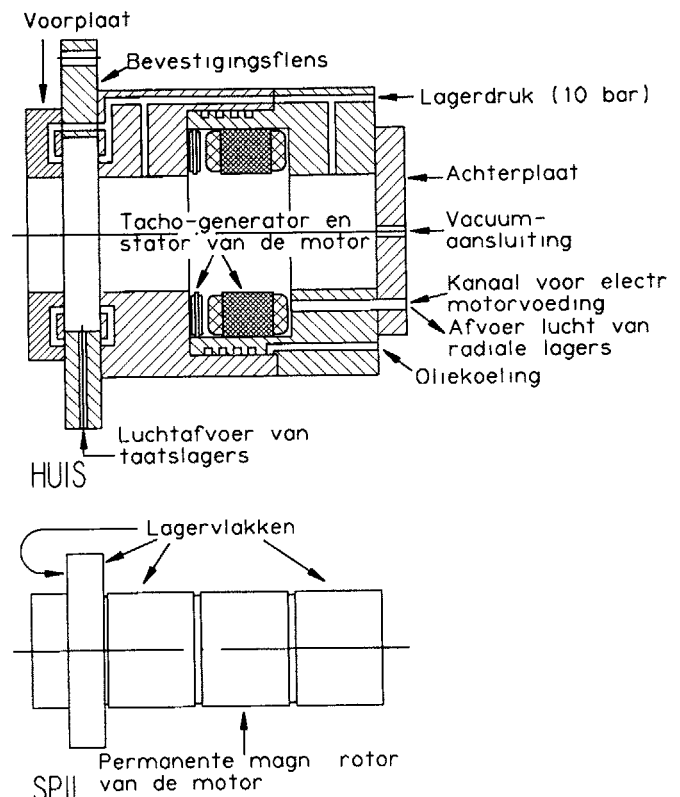
De spil is schematisch weergegeven in figuur 2. Figuur 3 toont spil en huis voor montage. Zij wordt met behulp van een bevestigingsflens in horizontale stand gemonteerd in een vaste kop van natuurgraniet die de basis van de uiteindelijke bewerkingsmachine vormt

Figuur 1. Hembrug ultraprecisie-draaimachine (type Mini Mikroturn) met aerostatisch gelagerde hoofdspil, hydrostatische dwarsrede en vaste kop met een basis van natuurgraniet. Er is een 5,25" hard disk op de hoofdspil gespannen met behulp van een vacuüm-spanmal.



en waarop ook de overige onderdelen zijn bevestigd. Het taatslager is aan de voorzijde van de spil geplaatst, waar zich ook de bevestigingsflens van het spilhuis bevindt. Op deze wijze worden zowel een hoge axiale stijfheid, een geringe thermische groei in axiale rich-

ting als ook een zeer goede kantelstijfheid verkregen. Bovendien is een stabiele bevestiging in de vaste kop eenvoudig mogelijk. Om de gewenste stijfheden te bereiken, zijn de beide radiale lagers op enige afstand uit elkaar geplaatst. Zo ontstaat bovendien ruim-



Figuur 2. Schematische tekening van spil en spilhuis.

te om een geïntegreerde aandrijfmotor met geringe massatraagheid tussen deze lagers te kunnen plaatsen.

De lagers

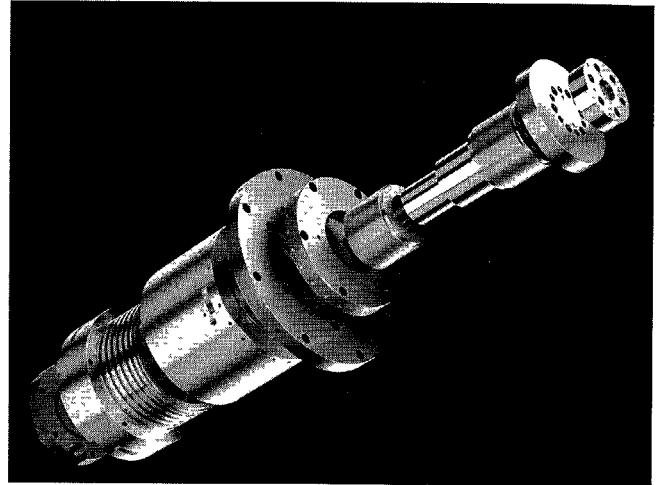
Zowel voor de axiale als de radiale lagering is gekozen voor luchtlagers. Deze leveren, vergeleken met alle andere lagertypen, zeer goede rondloop-eigenschappen, gecombineerd met verwaarloosbaar onderhoud en een uiterst lage wrijving (hetgeen van belang is in verband met het start/stop-bedrijf in hoog tempo). De lagers zijn aerostatisch, dat wil zeggen zij worden voorzien van uitwendige druk, door middel van speciaal gedroogde en gefilterde perslucht (filters met een maaswijdte $0,01 \mu\text{m}$; luchtdruk 10 bar). Op deze wijze is er ook tijdens het verwisselen van produkten het nodige draagvermogen. Door een adequate keuze van de uitvoering en de dimensionering van de lagers zijn de gevraagde stijfheden zonder problemen te bereiken. Bij de dimensionering is gestreefd naar geringe diameters, om een lage massatraagheid te verkrijgen (wederom in verband met het start/stop-bedrijf). Voor de radiale en axiale lagering zijn verschillende typen luchtlagers gekozen. De radiale lagers zijn uitgevoerd als een combinatie van gaatjeslagers en conische-spleetlagers van een door het Philips Natuurkundig Laboratorium ontwikkeld type met zeer goede rondloopnauwkeurigheid en stijfheid. De perslucht wordt aangevoerd door een aantal over de lageromtrek verdeelde gaatjes ter plaatse van de grootste hoogte van de lagerspleet. De axiale lagers zijn van het conventionele inherent-gecompenseerde type.

De motor

De spil wordt aangedreven door een geïntegreerde borstelloze gelijkstroommotor met permanent-magnetische rotor.

Deze "direct-drive" kan op simpele wijze de benodigde piekkoppels leveren die voor de korte start- en stoptijden nodig zijn, zonder dat een overbrenging nodig is, die energie dissipatie geeft of verstoring van de rondloop. De borstelloze motor is onderhoudsvrij en kan daarom zonder bezwaar worden geplaatst op de mechanisch gunstige plaats tussen de radiale lagers. Dit ver-

Figuur 3. De stalen spil met bronzen huis voor montage.



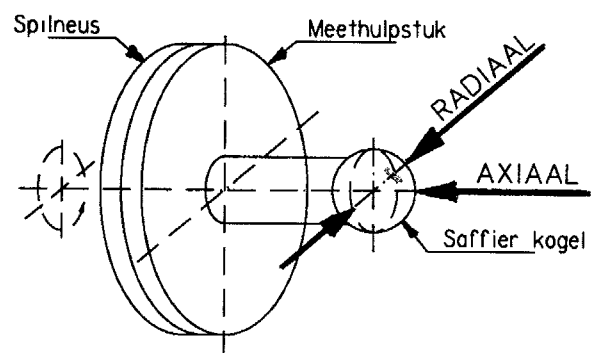
mijdt de noodzaak van een afzonderlijke motorlagering met de daaruit voortkomende risico's van een minder goede rondloopnauwkeurigheid. Wel is er nu een koeling nodig om de elektrische verliezen in de van het spilhuis ingebouwde statorwikkelingen af te voeren. De permanent magnetische rotor vormt een integraal onderdeel van de spil zelf. Door de keuze van een gelijkstroommotor met een tachometer-wikkeling in de stator, ten behoeve van de commutatie, is een relatief eenvoudige

elektronische motorregeling mogelijk. En ten slotte, zeker met het geringste voordeel van de gekozen aandrijving: door het ontbreken van zowel borstels als overbrenging en motorlagers vervalt veel periodiek onderhoud en de daarmee verbonden kostbare stilstand.

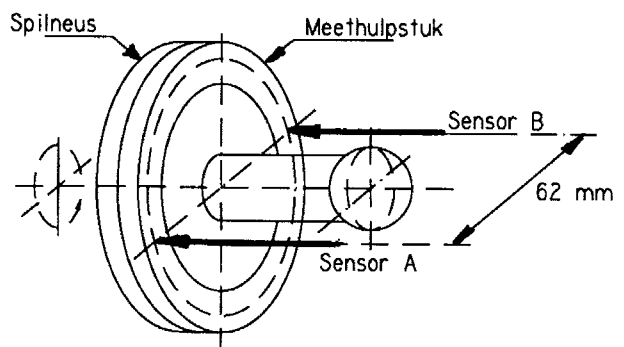
Enige mechanische details

Bij de ontwerpberekeningen is gekeken naar de stijfheden, alsook naar start/stop-tijd, mechanische resonanties en het thermisch gedrag van de

Figuur 4. Meting van de rondloopnauwkeurigheid (radiaal en axiaal).



Figuur 5. Meting van de kantelfout.



Een luchtgelagerde precisiespil

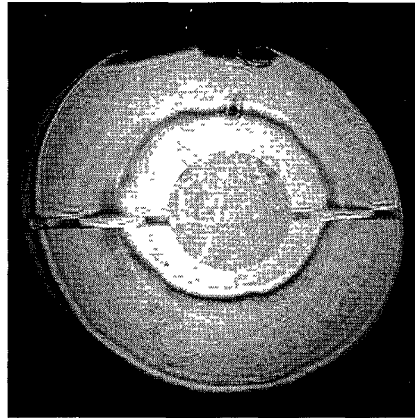
spil. Op basis van deze berekeningen konden de volgende maten voor de spil worden vastgelegd: diameter van de spil 75 mm, lengte 470 mm, taatslagerdiameter 120 mm en de lengte van elk der beide radiale lagers 60 mm.

Het spilhuis is van brons, de spil van staal, zodat ook bij wegvallen van de lagerdruk, tijdens langer durende stilstand, geen adhesie tussen beide delen optreedt. Het huis is, zoals de tekening laat zien, uit twee helften samengesteld om de statorwikkelingen van de motor te kunnen monteren en ook om de koelkanalen rond deze stator eenvoudig te kunnen realiseren. Na assemblage van beide helften zijn de lagervlakken in het spilhuis nagedraaid op de uiteindelijk gewenste diameter. Hierbij was de keuze van goed bewerkbaar lagerbrons als materiaal voor het huis van belang. Alle benodigde aansluitingen (motorvoeding, lagerlucht, koelolie en vacuüm voor de spanplaat) zijn aan de achterzijde van het spilhuis geplaatst om hinder tijdens bedrijf en risico van beschadigen zoveel mogelijk te vermijden. De vacuümleiding ten behoeve van de opspanmal op de spilneus loopt centraal door de spil. Een zeer nauwe spleet vormt een onderhoudsvrije roterende vacuümdoorvoer naar de spil.

Metingen en praktische beproeving

Na montage van de spil in het huis is de spil dynamisch gebalanceerd bij een lagerdruk van 10 bar en een toerental van 6000 min^{-1} . Hierbij zijn correctiemassa's op de eindvlakken van de spil aangebracht. De daarna nog aanwezige restonbalans bedraagt minder dan 0,002 g mm per kg spilgewicht. Tijdens het balanceren werden start/stop-tijden van minder dan vier seconden gemeten, verder bleek het maximum toerental 7500 min^{-1} te bedragen.

Meting van de stijfheid der lagers is uitgevoerd door de vakgroep Werktuigbouwkunde, Produktietechnologie en Automatisering van de Technische Universiteit Eindhoven. Voor deze metingen, zowel radiaal als axiaal, werd de spil met een excitatiehamer aangestoten. Geschikt geplaatste versnellingsopnemers registreerden de responsies van de spil en het huis. Door Fouriertransformatie konden uit deze signalen de eigenfrequenties van de



Figuur 6. Bepaling van de vlakheid van een proefstuk. Elke ring in het getoonde interferentiepatroon correspondeert met 0,3 μm hoogteverschil.

spil in beide richtingen worden bepaald. Door nu de spil op zijn lagers op te vatten als een simpel massa-veersysteem, zijn hieruit de stijfheden berekend. Bij een toevoerdruk op de lagers van 10 bar is op deze manier voor de stijfheden gevonden radiaal 232 $\text{N}/\mu\text{m}$, axiaal 453 $\text{N}/\mu\text{m}$.

Temperatuurmetingen aan de koellicingen, het huis en de spil, lieten zien dat de temperaturen zich reeds na zo'n drie minuten stabiliseren op ca. 3°C boven de omgevingstemperatuur.

Voor het meten van de rondloopnauwkeurigheid en de axiale slag werd een meethulpstuk op de spil gespannen waarop een saffierkogel met een maximale rondheidsafwijking van 0,04 μm ,

zie figuur 4. Met optische tasters vergelijkbaar met de Autofocussensor beschreven in Mikroniek no. 2 van 1992, werden radiale en axiale spilbewegingen gemeten. Bij een lagerdruk van 10 bar en toerental 6000 min^{-1} lagen deze binnen de gespecificeerde 0,05 μm .

Vervolgens werd het meethulpstuk over circa 10 mm breedte vlakgedraaid met een diamantbeitel. Door nu met twee diametraal geplaatste optische tasters de slag van deze baan te meten (zie figuur 5), kon worden vastgesteld dat de kantelfout (taatsfout) van de spil niet meer dan 0,035 boogseconden bedroeg.

Proefproduct

Tot slot zijn op de spil proefvlakken gedraaid van brons, messing en aluminium. Hierbij werd een diamantbeitel gebruikt en de aanzetsnelheid bedroeg 2 mm/min bij een toerental 6000 min^{-1} . Het met een laserinterferometer opgenomen vlakheidsdiagram van een van de proefvlakken is getoond in figuur 6. Doordat spil en beitelslede niet volledig haaks ten opzichte van elkaar waren uitgericht, is – zoals te zien – een enigszins conisch vlak verkregen.

Het hier beschreven ontwerp kwam tot stand dankzij de medewerking van P. Knol en D. Szepesi van Hembrug B.V., en P. Merkelbach en H.F.M. Weytens van de Nederlandse Philips Bedrijven B.V.

De Philips Machinefabrieken vervaardigen mechanische componenten voor produktiemachines. Ook worden er doorgaans gespecialiseerde bewerkingen uitgevoerd aan onderdelen voor bepaalde produkten. Tot deze laatste activiteiten behoort het uitvoeren van micron en sub-micron bewerkingen in de Machinefabriek Acht. De speciale precisiemachines voor deze bewerkingen zijn doorgaans moeilijk commercieel verkrijgbaar en moeten daarom in eigen huis worden ontworpen en vervaardigd.

Een voorbeeld hiervan is een machine voor sub-micron draai- en slijpbewerkingen met een luchtgelagerde hoofdspil. Op basis van het aanvankelijk voor eigen gebruik opgestelde concept zijn volgens specificatie van Hembrug B.V. spullen gebouwd ten behoeve van machines voor het nadraaien van het oppervlak van geheugenschijven voor computers (hard disks) en VCR-onderdelen. Het eerste exemplaar van deze serie wordt hier beschreven. De ermee uitgeruste machine voldoet ruimschoots aan de gestelde eisen: het onder produktieomstandigheden voor en nadraaien van disks met een vlakheid beter dan 100 nm en een oppervlakenauwkeurigheid beter dan 10 nm.