

3D-geprinte miniaturpomp overtreft in performantie en productiekost

13 november 2020, 01:00

Jan Kempeneers

Onderzoekers hebben een proof-of-concept gedemonstreerd van compacte, magnetisch geactiveerde pompen voor vloeistoffen en gassen die werden vervaardigd met additive manufacturing. Ze demonstreerden hiermee hoe de voordelen van 3D-printen te benutten door bijvoorbeeld voorheen onoplosbare problemen opnieuw te bekijken... en eventueel zelfs op te lossen.

Onderzoekers aan het Amerikaanse Massachusetts Institute of Technology (MIT) waagden zich aan het ontwikkelen van een proof-of-concept van miniaturpompen van 1 cm³ voor vloeistoffen en gassen. Ze wilden hiermee een beter en goedkoper alternatief bieden voor de klassieke productie van dergelijke pompen. Aangezien de pompen typisch vervaardigd zijn uit verschillende componenten van verschillende materialen en daarnaast ook complexe vormen hebben, is traditionele fabricage en montage vaak duur. Bovendien werken de pompen met minder stroom en ondervinden ze minder verstoppingen dan klassieke pompen met dezelfde afmetingen.

Magnetische inschakeling

Geminiaturiseerde pompen leveren een precies debiet van vloeistoffen en gassen of zorgen voor een vacuüm in tal van compacte microfluidische systemen. Er bestaat een grote variëteit in microgefabriceerde verdringerpompen: dergelijke apparatuur verplaatst cyclisch hoeveelheden vloeistof door gebruik te maken van aangestuurde kamers. Compacte verdringerpompen, via standaard microfabricage vervaardigd, maken typisch gebruik van elektrostatische of piëzo-elektrische actuatoren. Deze pompen kunnen grote krachten uitoefenen maar geen grote debieten leveren tenzij met hydraulische versterkers of hoogfrequentie pompslagen (> 1 kHz) in. Zowel pneumatische als hydraulische actuatoren kunnen een grote verplaatsing en aanzienlijke kracht leveren. Ze vereisen echter een externe bron van gas of vloeistof onder druk, wat hun draagbaarheid beperkt. Daarnaast hinkelen ze achterop in inschakelsnelheid waardoor mogelijk het debiet beperkt wordt. Magnetische actuatie is een interessante manier om zowel grote kracht als verplaatsing te realiseren in een compacte vorm.

Monolitische multimateriaalpompen

De onderzoekers realiseerden twee verdringerpompen. Deze volumetrische pompen werden geprint uit één materiaal met geïntegreerde gesinterde magneten en zijn zo de eerste monolitische multimateriaalpompen. Het ontwerp is er een zonder kleppen, wat de werking van de pompen aanzienlijk vereenvoudigt en waardoor ze minder energie verbruiken in vergelijking met ontwerpen met actieve kleppen. Ze zijn bovendien minder geneigd te verstopen.

De miniatuurmembraanpompen zijn opgebouwd uit 150-225 μm -dikke lagen via 'fused filament fabrication'. De structurele delen werden geprint in puur nylon 12 terwijl de magneet die de activatie van de pompkamer mogelijk maakt ofwel geprint is in nylon 12 met geïntegreerde NdFeB-micropartikels of in de pomp geperst wordt na het printen van de omliggende piston.

De fabricage van de monolithische pompen maakt gebruik van een nieuwe multimateriaal-3D-printtechnologie, waardoor de tolerantie op de uitlijning slechts 13 μm bedraagt. De productie van de pompen duurt minder dan 75 minuten en kost voor minder dan 3,89 USD aan materiaal. De apparatuur wordt aangedreven via een roterende magneet en kan debieten halen van 7,88 ml min^{-1} aan 198 Hz voor de gesinterde pompen (N35-graad) en 1,68 ml min^{-1} aan 204 Hz voor de apparatuur met monolithische 3D-geprinte magneten ($\sim$ N4-graad).



(a) doorsnede uit CAD-model van een 3D-geprinte pomp; (b) zijaanzicht van een volledig 3D-geprinte pomp; (c) bovenaanzicht van een 3D-geprinte pomp, met zicht op de diffusers en fluïdische connectoren; (d) dissectie van het plafond van de kamer (links) en het losgemaakte membraan (rechts) boven op een 'dime' (Amerikaanse munt van 10 cent); (e) onderaanzicht van een 3D-geprinte pomp met gesinterde magneet; (f) onderaanzicht van een volledig 3D-geprinte pomp, met zicht op geprinte magneet. De schaal geldt voor alle beelden.

(Bron: MIT)

Elke pomp heeft een cilindrisch stijf frame met een buitendiameter van 11,2 mm en een binnendiameter van 8,8 mm, dat met een van de uiteinden is vastgezet aan de buitenste ring van een 150 μm dik of 225 μm dik ringvormig membraan. Het lichaam van de zuiger is een cilinder met een hoogte van 8 mm, een buitendiameter van 6,4 mm en binnendiameter van 4 mm, die de geprinte of gesinterde NdFeB-magneet bevat. De cilinder wordt vastgehouden in een contactgebied van 2,4 mm diameter aan de binnenkant van het membraan. De pompkamer zit recht boven dit membraan en direct onder een blok met twee diffusers en vloeistof connectoren. Deze bevatten een interne, concentrische vooruitstekende lip om via een perskoppeling verbinding te maken. Tijdens het fabricageproces wordt het membraan plastisch vervormd en met 1 mm verplaatst, waardoor een koepelvorm ontstaat. De diffusers zijn 1,95 mm lange holle kegels met een opening van 0,65 mm diameter langs de smalle kant en van 1,8 mm diameter aan de brede zijde. In elke pomp is één diffuser geplaatst met een grotere opening verbonden met de kamer en de smallere opening verbonden met een microfluïdische poort, terwijl de andere diffuser omgekeerd georiënteerd is.

Resultaten

De resultaten overstijgen de state of the art in 3D-geprinte miniatuurpompen voor vloeistoffen. De performantie werd beperkt door de elektrische motor en de magneetsterktes die geselecteerd werden voor het onderzoek. Een hogere performantie wordt verwacht voor systemen met grotere motoren en/of sterkere magneten. Na 14,4 miljoen cycli vertoonde een pomp geen blijk van degradatie of lekken (op voorwaarde dat de druk onder de vermoeiingsgrens van het materiaal bleef). De pomp met gesinterde magneet (N48-graad) werd tevens getest als een vacuümpomp met lucht als werkvloeistof en bereikte onder atmosferische druk een maximale druk van 540 Torr (0,72 bar) en een debiet tot 9,3 ml min^{-1} in een pompvolume van 0,61 ml. Deze resultaten laten zich goed vergelijken met commerciële miniatuurvacuümpompen die niet via 3D-printen zijn

gerealiseerd.

De efficiënte en compacte pompen kunnen worden ingezet voor verschillende toepassingen waaronder brandstofcellen, energieopwekking en warmtewisselaars die computerchips koelen.

Bron

'Compact, magnetically actuated, additively manufactured pumps for liquids and gases', Anthony P Taylor et al 2020 J. Phys. D: Appl. Phys. 53 355002 <https://iopscience.iop.org>

Auteurs



Jan Kempeneers