

BuB CLEAN

ULTRASOON REINIGEN MET MICROBELLETJES

AUTEURS: BRAM VERHAAGEN & DAVID FERNANDEZ RIVAS

Medische instrumenten, horloges, brillen, laboratoriumglaswerk en auto-onderdelen: dit is slechts een kleine greep van de objecten die kunnen worden schoongemaakt met ultrasoon reinigen. De techniek bestaat dan ook al ruim 60 jaar, maar ontwikkelingen hierin staan al lange tijd stil. UT-spin off BuBclean werkt nu aan verbeteringen in ultrasoon reinigen, zodat de techniek ook voor nieuwe toepassingen, zoals plastics in 3D printen en cleanroom wafers, gebruikt kan worden.

De ontdekking van ultrasoon reinigen wordt door sommigen toegeschreven aan de Radio Corporation of America, waar in de jaren '30 van de vorige eeuw werd gewerkt aan nieuwe radiocomponenten. Een kristal was daarbij aan het trillen met een frequentie van 300 kHz, en zette de koelvloeistof rondom het kristal daarbij ook in trilling, met allerlei interessante fenomenen tot gevolg¹.

Met deze observatie is helaas weinig gedaan, alhoewel de ontwikkeling van ultrageluid niet stil stond dankzij onderzoek aan sonar in de Tweede Wereldoorlog. Pas 20 jaar later, in de jaren '50, werden ultrasone baden ontwikkeld. Vanwege de sterke vraag naar goede, industriële schoonmaaktechnieken voor de groeiende automarkt, ruimtevaart en gezondheidszorg werden deze ultrasone baden al snel erg populair en waren ze binnen enkele jaren al in vele industrieën in gebruik. Nog eens 20 jaar later kwamen ook kleine ultrasone baden voor thuisgebruik op de markt, die tegenwoordig zelfs bij de Kruidvat te koop zijn².

De werking

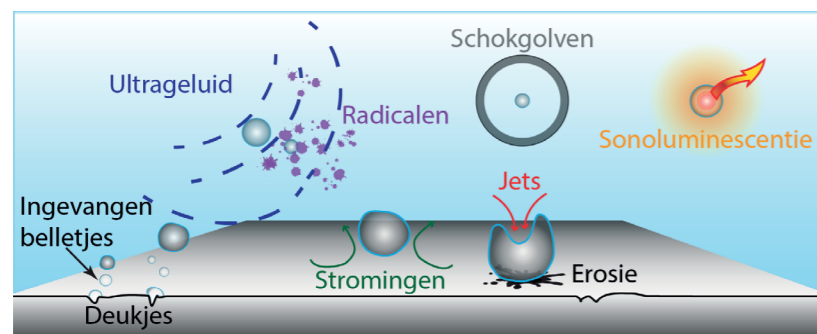
Ultrasoon reinigen maakt gebruik van microbelletjes, die worden opgewekt met geluidsgolven. Het meest gebruikt zijn ultrasone baden (figuur 1), waarin enkele piezo-elementen zorgen voor geluidsgolven met een frequentie van 20-40 kHz. Er zijn ook varianten met hogere frequenties (100-250 kHz tot zelfs enkele MHz). Deze geluidsgolven (drukvolgen) zorgen ervoor dat in het hele bad cavitatie ontstaat: groeiende en inklingende belletjes. Hogere frequenties geven kleinere belletjes.

Het lage druk gedeelte van de geluidsgolf wil als het ware het water uit elkaar trekken, alhoewel het daar nooit genoeg kracht voor heeft: de schatting is dat daar een druk van zo'n 500 atm voor nodig is. Gelukkig zijn er altijd wel hele kleine belletjes al

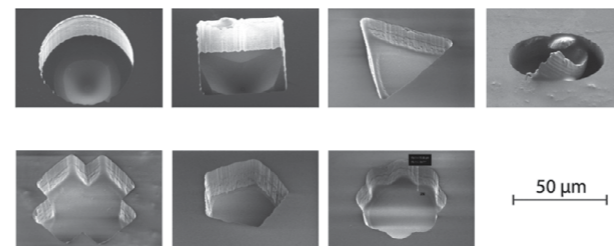


FIGUUR 1: een standaard ultrasoon bad, met temperatuurregeling en timer. (Afbeelding: Bandelin).

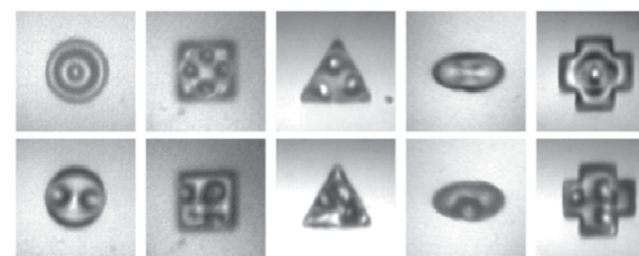
aanwezig in het bad, en deze belletjes kunnen groter groeien tijdens het lage druk gedeelte van de geluidsgolf. Als vervolgens het hoge druk gedeelte van een geluidsgolf er aan komt, dan klappen de belletjes met extreem hoge snelheden in elkaar: snelheden van 100 m/s op een schaal van enkele micrometers zijn haalbaar. Daarbij komen dan ook gigantische krachten kijken: drukken in de orde grootte van GPa en schokgolven zijn waargenomen. Watermoleculen worden zelfs gesplitst (dit levert o.a. OH⁻ radicalen op, bruikbaar voor chemische reacties) en gasatomen geïoniseerd (waarbij licht kan worden uitgezonden: sonoluminescentie). Deze effecten (zie ook figuur 2) maken belletjes dan ook uitermate geschikt om vervuiling van oppervlakken af te halen. Als je die belletjes echter te lang dit werk laat doen, dan ontstaat schade (erosie) aan je oppervlak. Het is dus belangrijk om snel en goed te reinigen.



FIGUUR 2: Schets van het genereren van belletjes door ultrageluid. De belletjes zitten in eerste instantie ingevangen in deukjes in een oppervlak (links), maar groeien daar uit door ultrageluid. Als ze vervolgens inklinken, ontstaan er verschillende effecten: microjets, schokgolven, stromingen, radicalen, sonoluminescentie en erosie.



FIGUUR 3A: SEM-afbeeldingen van micropits met verschillende vormen.



FIGUUR 3c: Hoge-snelheidsopname van de stabiele (Faraday) en instabiele trillingen van de meniscus op de micropits

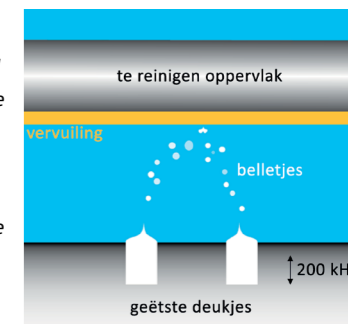
Nieuwe ontwikkelingen

Zoals hierboven vermeld, zijn vooral de minuscule belletjes die al aanwezig zijn, te gebruiken voor cavitatie. Deze belletjes bevinden zich vaak in kleine deukjes, holtes en andere onregelmatigheden van een oppervlak, dus op de wand van het ultrasone bad of in rondrijvende stofdeeltjes (zie figuur 2). Dit maakt van ultrasoon reinigen dan ook een ongecontroleerd proces: je weet nooit waar en wanneer de belletjes zullen ontstaan.

Dit kan efficiënter. Vanuit ons onderzoek hebben we een manier gevonden om precies te bepalen waar en wanneer de belletjes ontstaan^{3,4} (hiervan is een Youtubebepilmpje: volg de QR-cde die bij 'bronnen' staat). In het NanoLab hebben we enkele 'deukjes' (cilindrische putjes) geëetst in een wafer, waarin lucht wordt gevangen zodra de wafer onder water wordt gehouden (figuur 3a en b). Als we dit vervolgens met 200 kHz laten trillen, onder de juiste omstandigheden, dan ontstaan er Faradaygolven op het lucht-water oppervlak bij het putje (figuur 3c). Zodra deze oppervlaktegolven instabiel worden, splitsen kleine belletjes zich af. Deze belletjes kunnen we vervolgens weer gebruiken om schoon te maken (figuur 3b). De akoestische krachten sturen de belletjes automatisch naar een dichtbijzijnd oppervlak. Doordat we alleen belletjes maken op de plekken waar de putjes zijn geëetst, en alleen wanneer we ultrasoon trillen, kunnen we heel nauwkeurig en gecontroleerd schoonmaken, zonder direct contact (zoals met borstels). Ook grotere oppervlakken (mm²-cm²) kunnen worden schoongemaakt, door meerdere putjes te maken. De gegenereerde belletjes worden aangehouden door het buur-putje (figuur 4) en maken zo het gebied tussen twee (of meer) putjes in schoon. Video's hiervan zijn te vinden op: <http://www.youtube.com/BuBclean>.

Het gecontroleerd kunnen schoonmaken is interessant voor verschillende nieuwe industriële toepassingen waar heel snel, grondig en/of gericht schoongemaakt moet worden, of waar het terugdringen van energieverbruik of de hoeveelheden chemicaliën belangrijk is. Een voorbeeld is het reinigen van wafers in het NanoLab: dit wordt vaak gedaan met grote hoeveelheden aceton, en de aangebrachte structuren op de wafer worden niet ontzien door het ultrasoon bad. Gerichter en sneller

FIGUUR 3b: Schets van het gecontroleerd genereren van belletjes. In het onderste oppervlak zijn 'deukjes' geëetst, waarin lucht wordt ingevangen onder water. Door het ultrasoon trillen van dit oppervlak worden belletjes afgesplitst, die vervolgens een laag vervuiling op het object erboven kunnen gaan schoonmaken.



schoonmaken kan hier een uitkomst bieden. Een tweede voorbeeld is medische instrumenten, die vaak holle ruimten hebben. Ultrageluid komt moeilijk binnenin deze metalen instrumenten, terwijl daar wel bloed en bacteriën zitten. Van binnen uit reinigen is hier gewenst.

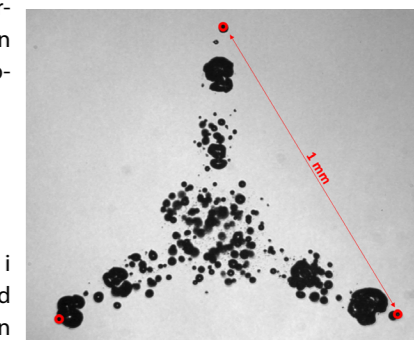
Ook nieuwe toepassingen van ultrasoon reinigen worden nu mogelijk, voor objecten die met de bestaande ultrasone baden niet (goed) gereinigd kunnen worden. Zo willen belletjes niet graag naar plastic toe, en zijn 3D geprinte objecten daardoor niet te reinigen met ultrasone baden. De groeiende markt voor 3D printen wordt geremd doordat er veel tijd gaat zitten in andere (veelal handmatige) manieren van reinigen.

Onze techniek voor gecontroleerde cavitatie biedt de mogelijkheid om zowel op fundamenteel vlak naar het onderliggende probleem te kijken alsook er een praktische oplossing voor te ontwikkelen.

BuBclean

Oud-UT-promovendi Bram Verhaagen en David Fernandez Rivas hebben BuBclean in oktober 2013 gestart vanuit de vakgroepen Physics of Fluids en Mesoscale Chemical Systems. Met behulp van een STW Valorisation

Grant fase 1 zijn ze nu begonnen met het ontwikkelen van innovatieve producten voor ultrasoon reinigen. Er zijn regelmatig opdrachten beschikbaar. Laat het ons weten als je interesse hebt of meer wilt weten: info@bubclean.nl



FIGUUR 4: Snapshot van de belletjes die gegenereerd worden vanuit 3 putjes (rode cirkels), met een onderlinge afstand van 1 mm.

Bronnen

1. Edward Lamm, *The development of ultrasonic cleaning*. Controlled Environments Magazine 2003. Bezocht: 05-06-2014.
2. *Ultrasonics: Unheard Progress*. Time Magazine, 16 maart 1959.
3. Fernandez Rivas et al. *Localized removal of layers of metal, polymer, or biomaterial by ultrasound cavitation bubbles*. Biomechanics 6, 034114 (2012).
4. Fernandez Rivas et al. *Erosion evolution in mono-crystalline silicon surfaces caused by acoustic cavitation bubbles*. Journal of Applied Physics 113, 064902 (2013).

