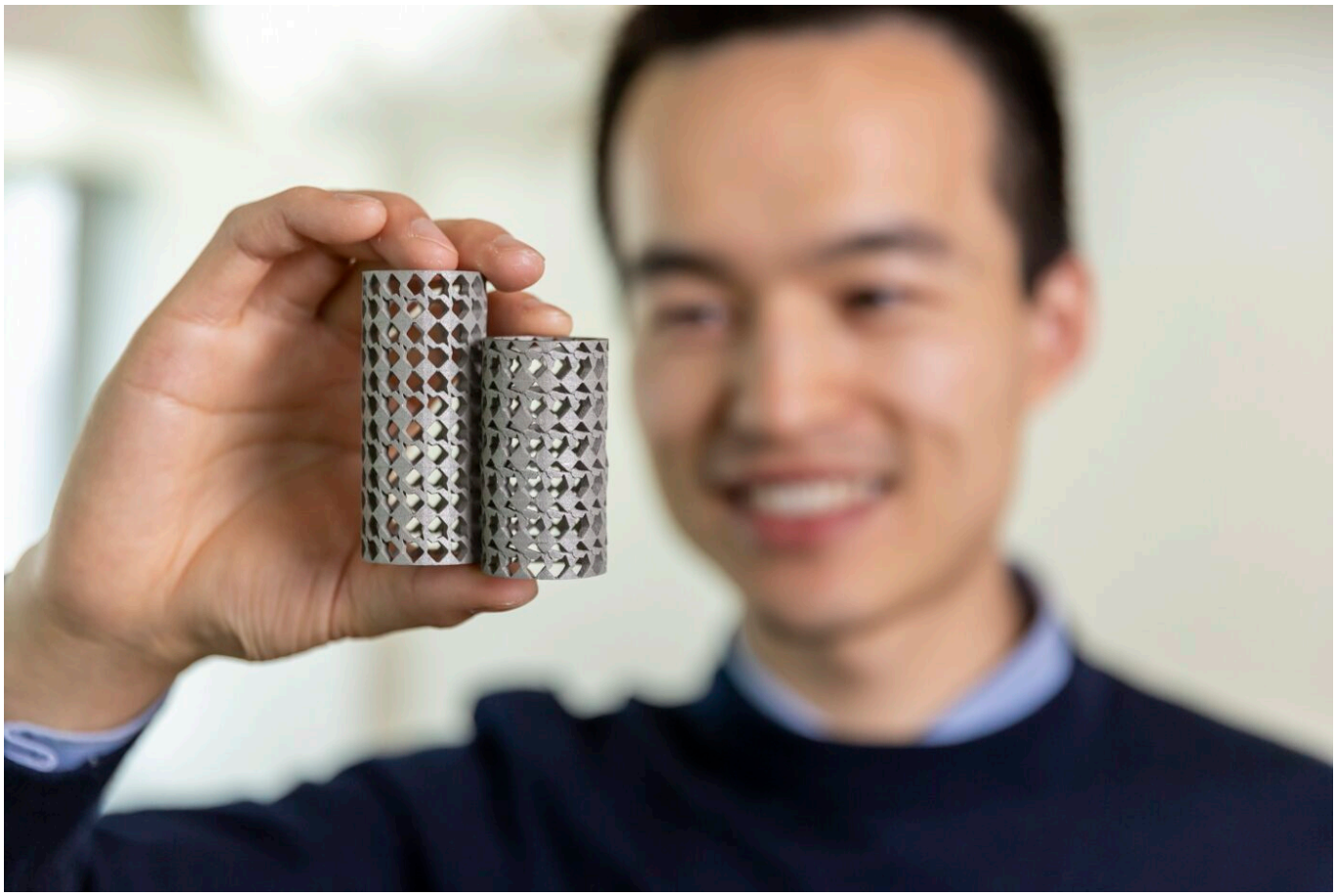
Hoe maak je de ideale schokdemper?

Auto’s en andere motorvoertuigen zijn zo gebouwd dat bij een botsing de voorkant kreukelt en passagiers niet de volledige impact voelen. Onderzoekers van de Universiteit van Amsterdam en Tata Steel Nederland hebben een unieke schokdemper voor dit soort levensreddende toepassingen gemaakt: een ‘metamateriaal’ dat stijf maar licht is en efficiënt en herhaaldelijk schokken kan absorberen.



Van falen naar functioneren. Wenfeng Liu, eerste auteur van de publicatie, toont een van de nieuwe metamaterialen vóór en na het sequentieel knikken. Afbeelding: Liesbeth Dingemans.

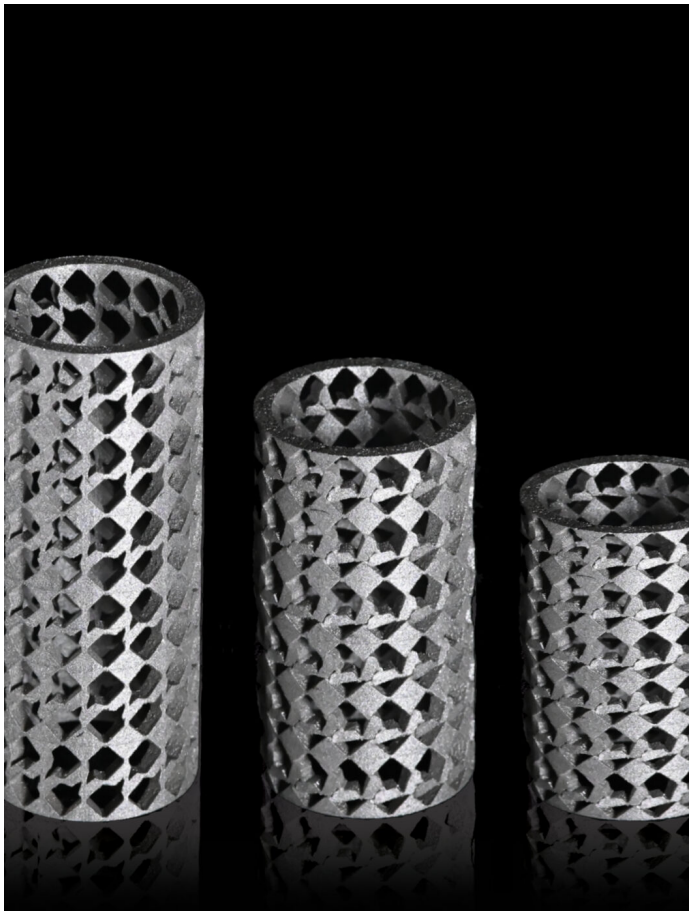
Elastisch of plastisch?

Begrijpen hoe materialen reageren op mechanische spanning is één ding; beheersen hoe ze dat doen is een tweede. Om dit doel te bereiken gebruiken metamaterialen – in het laboratorium ontworpen materialen – een innovatief ontwerp om materiaaleigenschappen te bereiken die we in de natuur niet aantreffen. Deze aanpak is essentieel voor het maken van de ideale schokdemper.

Veel bestaande mechanische metamateriaalontwerpen maken gebruik van omkeerbare elastische vervormingen, zoals die van een elastiekje. Hoewel dit de metamaterialen in staat stelt om na buigen of rekken op voorspelbare wijze terug te komen in hun oorspronkelijke vorm, beperkt het hoe stijf of sterk ze kunnen zijn. De onderzoekers, onder leiding van UvA-natuurkundige Corentin Coulais, tonen nu aan dat juist metamaterialen op basis van niet-elastische materialen ideale schokdempers kunnen zijn. Zulke materialen maken het mogelijk om twee doorgaans tegengestelde eigenschappen te combineren: stijfheid en het kunnen dragen van voldoende gewicht enerzijds, en soepelheid of buigzaamheid anderzijds. De combinatie van de twee helpt om plotselinge schokken efficiënt te kunnen absorberen.

’Er is een grote kloof tussen de meeste elastische metamaterialen die in het lab zijn ontworpen en echte toepassingen die meestal een hoge materiaalstijfheid en -sterkte vereisen, vooral in hightechtoepassingen,’ merkt Wenfeng Liu van de Universiteit van Amsterdam op – de eerste auteur van het onderzoek. ‘Waar plastische vervormingen altijd zorgvuldig werden vermeden in metamateriaalontwerp, omdat ze werden gezien als een ‘materiaalfalen’, omarmen onze ontwerpen juist plasticiteit.’

De nieuwe metamaterialen werden vervaardigd met een metaal-3D-printer (en later ook met traditionele productiemethoden), waarna de onderzoekers de superieure schokabsorptie van de ontwerpen aan uitgebreide crash tests onderwierpen. Hiervoor bliezen ze een tientallen jaren oude hydraulische breekmachine van het Technologiecentrum van de universiteit nieuw leven in, en gebruikten een nieuw gekochte testmachine die enorme krachten kan uitoefenen (om die reden ‘Smashzilla’ gedoopt), en een drie verdiepingen tellende industriële valtoren van Tata Steel Nederland.

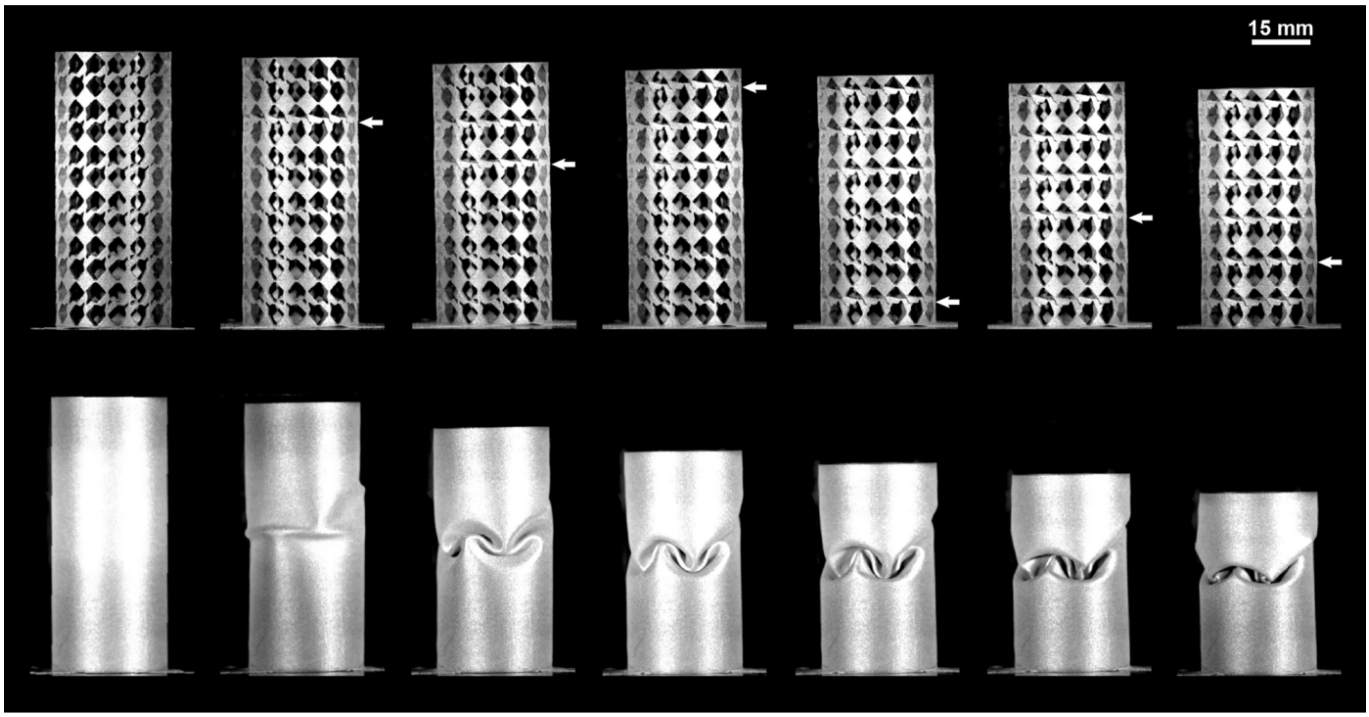


Drie stadia van compressie van een metamateriaal-schokdemper. Bij druk van boven of onder knikt dit 3D-geprinte metalen metamateriaal laag voor laag, het zogeheten sequentieel vloeiend knikken. Het schokabsorberende effect ontstaat dankzij plastische vervormingen in het metaal. Afbeelding: Wenfeng Liu.

Laag voor laag knikken

De nieuw ontworpen metamaterialen vormen een delicaat evenwicht. Enerzijds is er de plasticiteit van het basismateriaal, anderzijds de flexibiliteit van de geometrische structuren die ermee worden gemaakt. Samen bepalen die twee hoe gemakkelijk het metamateriaal onder druk meegeeft. Het resultaat zijn metamaterialen die sequentieel vloeiend knikken – ze verbuigen laag voor laag – wanneer er kracht op wordt uitgeoefend. Dit unieke gecontroleerde knikken betekent dat het metamateriaal de impactenergie efficiënt kan afvoeren en toch zware lasten kan dragen.

Door het laag-voor-laag knikken kunnen de schokdempers meerdere keren worden gebruikt – totdat alle lagen zijn gebruikt – en kunnen ze zelfs weer worden uitgerekt voor een tweede levenscyclus. Dit staat in schril contrast met traditionele schokdempers, die in het geval van kreukelzones in voertuigen meestal zijn gemaakt van metalen platen of cilinders. Zodra zulke schokdempers zijn gekreukt, verliezen ze hun oorspronkelijke stijfheid en sterkte en kunnen ze niet meer worden gebruikt om enige belasting te dragen.



Een metamateriaal vergeleken met een traditionele 'crash can'. Deze afbeelding vergelijkt een schokdemper van een metamateriaal (boven) met een traditionele, metalen 'crash can' (onder) na opeenvolgende impacts van bovenaf (van links naar rechts). Het metamateriaal knikt betrouwbaar laag voor laag en kan daarna zelfs weer worden uitgerekt voor een tweede gebruik. Waar de crash can zal knikken is minder voorspelbaar, en de schokdemper kan niet worden hergebruikt. Afbeelding: Wenfeng Liu.

De sleutel tot de nieuwe metamaterialen ligt in hun ontwerp maar ook in het basismateriaal dat wordt gebruikt. In feite kan de nieuwe klasse sequentieel knikkende metamaterialen worden gemaakt van elk zogenaamd elastoplastisch materiaal, een categorie waar de meeste vaste stoffen onder vallen. Bovendien kunnen ze massaal worden geproduceerd en kan het structurele ontwerp worden aangepast aan een breed scala aan toepassingen.

Bernard Ennis van Tata Steel Nederland voegt toe: 'Met behulp van deze technologie kunnen

we niet alleen een revolutie teweegbrengen in het dempen van schokken in toepassingen in de automobiel-, lucht- en ruimtevaart- en bouwsectoren, maar ook precies op maat gemaakte materialen op allerlei grootteschalen ontwerpen.’

Publicatie

Wenfeng Liu, Shahram Janbaz, David Dykstra, Bernard Ennis en Corentin Coulais, *Harnessing plasticity in sequential metamaterials for ideal shock absorption*. Nature **634**, 842–847 (2024).