

SELF HEALING MATERIALS

SCHADEHERSTEL: EEN ZELFHERSTELLEND MATERIAAL

► Er zijn momenteel heel veel ontwikkelingen gaande in het materialenveld voor de bouw: materialen met lage energy footprint, materialen van biologische oorsprong, responsieve materialen, materialen met additionele functionaliteit en al deze nieuwe materialen komen elders in deze editie aan de orde. Naast deze zichtbare en in de nog te bouwen gebouwen makkelijk herkenbare ontwikkeling van nieuwe materialen is er nog een andere ontwikkeling gaande: de ontwikkeling van zelfherstellende (self healing) materialen.

Materialen die er ogenschijnlijk net zo uitzien als hun voorgangers, maar die op een heel andere manier de doelstelling van een gegarandeerde lange levensduur met minimale inspectie en onderhoudskosten bereiken. In dit artikel willen we ingaan op de achterliggende gedachte achter self healing materialen en eindigen met een gedeelte over bouwspecifieke ontwikkelingen.

Steeds betere en sterkere materialen

Al duizenden jaren lang hebben mensen geprobeerd om steeds betere en sterkere materialen te maken. Materialen die aan steeds hogere eisen voldoen, zodat ze goed stand houden in hogere gebouwen of sterkere bruggen waarover meer en zwaarder verkeer moet kunnen rijden. Deze betere eigenschappen werden verkregen door te zorgen dat spontane gebruikschade aan het materiaal tijdens dit gebruik zo lang mogelijk wordt voorkomen. Deze methode van schadepreventie is in het verleden — en nu nog steeds — erg bruikbaar gebleken. Er is alleen één maar: je kunt de vorming van (kleine) scheurtjes of andere degradatievormen zoals corrosie nooit helemaal uitsluiten. En dan zou het mooi zijn om een materiaal ter beschikking te hebben dat deze acties autonoom, zonder ingrijpen van buitenaf, tot stand kan brengen: een zelfherstellend materiaal.

Romeinse cement

Materialen die in staat zijn om zichzelf te repareren bestaan al langer dan je op het eerste gezicht denkt.

Zo zullen de oude Romeinen er in hun tijd niet bij hebben stilgestaan dat hun bouwwerken ook nu nog te bewonderen zijn. Een waar staaltje van duurzaamheid. De toestand van stenen bruggen en aquaducten uit de Romeinse tijd is nog steeds behoorlijk goed, ondanks dat ze er al eeuwen liggen. Het geheim zit 'm in het 'cement' — op basis van vulkanisch as en kalk — dat de oude Romeinen bij hun bouwwerken gebruikten om stenen aan elkaar te metselen. En juist deze kalk in het cement gaf — en geeft nog steeds — aan de bruggen en aquaducten zelfherstellende eigenschappen mee. Want deze kalk lost op in regenwater, en kan zo naar een andere plaats sijpelen. Bijvoorbeeld naar een scheurtje in het bouwwerk dat het kalkbevattende water aanzuigt. Als het wa-

ter verdampt, dan vormt de kalk een afzetting in het scheurtje. Dit gaat net zo lang door tot het scheurtje helemaal is opgevuld, en de brug dus plaatselijk gerepareerd is. Leem heeft een soortgelijk natuurlijk vermogen om scheuren zonder menselijk ingrijpen te laten verdwijnen.

Kalkcement en asfalt

Zo zie je dat een materiaal niet noodzakelijk sterk moet zijn om een zelfherstellend effect tot stand te brengen. Immers, het 'Romeinse cement' is mechanisch gezien heel veel zwakker dan cement dat nu gebruikt wordt, maar het zorgt er wel voor dat de bouwwerken er na 2000 jaar nog steeds staan. Overigens functioneren oude stadsbruggen in Amsterdam, Utrecht en Delft — die 'slechts' enkele honderden jaren oud zijn — nog goed dankzij hetzelfde mechanisme.

Asfalt is een ander materiaal met zelfherstellende trekjes. Microscopisch kleine scheurtjes die overdag in het asfalt ontstaan, trekken 's nachts — als er veel minder verkeer is en de temperatuur niet te ver zakt — langzaam weer dicht. Het bestanddeel bitumen lijkt hiervoor verantwoordelijk te zijn. Dit is het viskeuze, op teer lijkende materiaal dat functioneert als een min of meer zelfherstellend bindmiddel voor diverse componenten in asfalt.

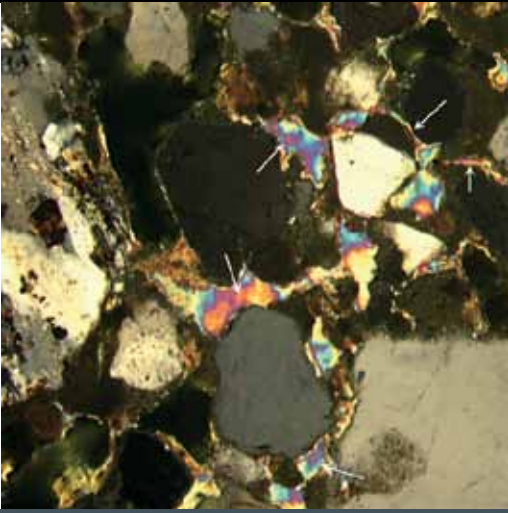
Het self healing vermogen van kalkcement en asfalt is min of meer toevallig en als het ware ingebouwd in de eenheden waaruit die materialen zijn opgebouwd, maar sinds 2002 wordt er wereldwijd hard gewerkt aan het ontwikkelen van zelfherstellende materialen waarin dat zelfherstellende karakter niet van nature aanwezig is. De gevonden oplossingen zijn steeds afhankelijk van de aard van het basismateriaal, maar laten zich op een hoger abstractie niveau toch wel goed vergelijken.

Werking zelfherstellende materialen

Zelfherstellende materialen vinden hun inspiratie in de natuur. Het zijn als het ware de kunstmatige tegenhangers van een boom die schade aan stam of takken zelf kan herstellen, of een snee in de vinger die



Druipsteenvorming in de grotten van Castellana.



Microfoto laat zelfheling (aangegeven met pijlen) zien in scheurtjes en onregelmatige openingen in een proefstuk uit Dolomitische kalk.

DOET DAT NU ALLEMAAL ZELF!

schijnbaar spontaan ophoudt met bloeden. Self healing gaat daarbij niet alleen over herstel van sterkte maar ook over andere functioneel belangrijke eigenschappen, zoals corrosiewering, glans, warmtegeleiding, krasvastheid.

Het belangrijkste aan een zelfherstellend materiaal is dat het z'n reguliere werk onder alle omstandigheden kan blijven doen. Een zelfherstellend materiaal moet daarom dus voor een aanzienlijk deel bestaan uit dezelfde bestanddelen — atomen of moleculen — die ook gebruikt worden in de traditionele voorgangers. Hier onderscheidt een zelfherstellend materiaal zich niet wezenlijk van zijn huidige tegenhanger. Zelf herstellend beton heeft dus grotendeels de zelfde samenstelling als zijn niet-zelfherstellende tegenhanger. Het geldt ook, zij het in iets minder mate, voor zelfherstellende coatings.

Spontaan verdwijnen

Om een self healing materiaal te ontwerpen gaan we uit van processen die ervoor zorgen dat ontstane beschadigingen min of meer spontaan verdwijnen. De lege ruimte van de scheur wordt opgevuld met 'iets' dat ervoor moet zorgen dat het materiaal weer net zo goed is als voor de beschadiging. En dat 'iets' moet vanuit het materiaal zelf komen. Een deel van het nieuwe materiaal is dus mobiel zijn over grotere of kleinere afstand, om de lokale scheur op te kunnen vullen. Maar dat is nog niet alles. Want als deze 'mobile deeltjes' bij de scheur zijn aangekomen, moeten ze hun 'herstellende werking' uitvoeren. Het hele proces van zelfherstel bestaat uit 'detecteren', 'bewegen' en 'consolideren/repareren'. Een zelfherstellend materiaal doet dat nu allemaal zelf!

De huidige situatie

Het vakgebied zelf herstellende materialen is in 2001 explosief van de grond gekomen door een in Amerika ontwikkelde plastic, waarbij kleine bolletjes met een zelfherstellende 'agent' werden ingebed. Mocht er een scheur in het materiaal komen die zo'n bolletje op haar weg vindt, dan breekt dit bolletje open en vloeit de inhoud in de scheur. Onder invloed van een aan-

wezige (polymerisatie)katalysator hardt deze vloeistof vervolgens uit, en de twee helften van de scheur zijn weer verbonden en de scheur is effectief verdwenen.

Onderzoeksprogramma

Na dit demonstratieproject hebben de ontwikkelingen niet stilgestaan. Nederland speelt hierbij een voortrekkersrol. In 2006 is het Innovatiegerichte Onderzoeksprogramma Self Healing Materials (IOP-SHM) van start gegaan, gestimuleerd door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. Doel van dit programma is om nieuwe routes te verkennen om te komen tot zelfherstellende plastics, metalen, beton, asfalt, composieten en coatings en daarnaast ook zelfherstellende functionele materialen. De ontwikkelingen in die deelgebieden kunnen gevonden worden op de website van het landelijke IOP Self Healing Materials onderzoek (1). Aan het Nederlandse onderzoeksprogramma werken inmiddels vijf universiteiten in partnership met bijna 70 bedrijven.

Commercieel verkrijgbaar

Op kleine schaal zijn 'nieuwe' zelfherstellende materialen inmiddels al commercieel verkrijgbaar. Denk hierbij aan zelfherstellende autolakken waarbij kleine krasjes als sneeuw voor de zon verdwijnen, zonder dat je daar iets voor hoeft te doen. Ook bestaan er inmiddels zelfherstellende skibrillen die krasvrij worden nadat ze een nachtje op de radiator hebben gelegen. Een grootschaliger demonstratie van self healing is een 300 meter lang baanvak op de A58 geconstrueerd uit self healing Zoab met de intentie om daar de levensduur te verlengen van de gangbare 7 jaar naar de gewenste 30 jaar! Heel andere ontwikkelingen, maar nog in de onderzoeksfase, zijn zelf-herstellende brandstofcellen, batterijen, LED's, zelf-herstellend beton middels bacteria, en zelf-herstellende coatings met ultra lage oppervlakte spanning.

Toepassingen in de bouw

Het principe van de klassieke, in de bouw optredende zelfherstellende processen heeft zoals eerder aangegeven te maken met de aanwezigheid van kalk in het ►

TOEPASSING

Zelfhelend beton

In Breda is zelfherstellend beton toegepast. Een wereldprimeur. Het gaat om spuitbeton op een dak- en gevelschil van een paviljoen. Beton onder trekspanning kan scheuren. Meer wapening om scheurvorming in de constructie te voorkomen kost veel geld. TU Delft onderzocht de zelfherstellende kwaliteiten van beton. Het zelfhelende biobeton uit Delft is als spuitbeton toegepast voor de schil een paviljoen in Breda. Het paviljoen, van de Reddingsbrigade en de EHBO, ligt in een recreatiegebied en moest vanwege de locatie vandaalbestendig zijn. Daarom is de dak- en gevelschil van het betonnen gebouw met 60 millimeter spuitbeton als buitenschaal vandaalwerend uitgevoerd.

Aan de mortel zijn tijdens de applicatie kalkproducerende bacteriën toegevoegd. Onschadelijk voor zowel mens als dier. Treedt in de dunne betonschil scheurvorming op, dan helen de werkzame bacteriën deze scheuren spontaan. De bacteriën produceren in het droge beton calciumcarbonaat (kalksteen), een van de basisonderdelen van beton.

De toepassing van biobeton resulteert in een besparing op betonvolume en levert daarmee een verlaging van de benodigde hoeveelheid beton. Naast milieuwinst zullen ook de reparatiekosten afnemen. De afdeling 'Self healing materials' van TU Delft gaat het project gedurende twee jaar monitoren.



SELF HEALING MATERIALS

bindmiddel van mortels. Om zo'n proces mogelijk te maken is het nodig dat kalkdeeltjes ergens in het materiaal worden opgelost en op de plaats van de schade (in dit geval de scheur) worden afgezet: geleidelijk aan worden kleine scheurtjes weer gevuld met kalk. Enigszins vergelijkbare processen leiden in de natuur tot de vorming van druipsteen in druipsteengrotten, en bij bouwconstructies, wanneer er sprake is van een aanzienlijke doorsijpeling van water, tot uitloging en vervolgens afzetting van kalk-encrustaties op het oppervlak van gemetselde constructies of tot stalactieten, hangend onder het plafond van parkeerdekken.

Modernere beton- en cementmortels

Nu treedt het hierboven beschreven zelf-herstellend proces vooral op in constructies, samengesteld met traditionele kalk- of traskalkmortels. Om het proces ook in voldoende mate te laten optreden in modernere beton- en cementmortels, lijkt wat extra hulp nodig. Een belangrijk deel van het huidige onderzoek is dan ook gericht op de vraag: hoe kunnen we het zelfherstellend vermogen van beton en van moderne mortels versterken?

Een van de zaken die recent uit een pilotstudie naar voren kwam is dat mortels op basis van een dolomitische kalk misschien wel eens een positieve invloed zouden kunnen hebben op het zelfherstellend vermogen. Onderstaande foto laat de opgevulde scheurtjes zien, die het resultaat zijn van een versnelde proef in het laboratorium van TNO. Met daarbij de aantekening dat, vooraleer een dergelijke prille ontwikkeling daadwerkelijk tot op de markt verkrijgbare producten leidt, nog wel veel aanvullend onderzoek nodig is.

Aanvullend onderzoek

De tot nu toe omschreven toepassingen zijn vooral gericht op het weer herstellen van fijne scheurtjes, die bijvoorbeeld zijn ontstaan door krimp en waarbij de afzettingsproducten nog steeds morteleigen materialen zijn. Bij nieuwe richtingen in het onderzoek naar het stimuleren van het zelfherstellend vermogen van steenachtige bouwmaterialen, gaat het alweer wat

verder, zowel voor wat betreft de schadeprocessen die tegemoet kunnen worden getreden, als voor wat betreft het inbrengen van specifieke stoffen, die een zelfherstellend proces op gang kunnen brengen. Een bekende vorm van verwerking bij kalksteensoorten is de vorming van gipskorsten. Deze aantasting komt tot stand onder invloed van zure regen, met name door de afzetting van zwaveloxide uit de vervuilde atmosfeer. Dit proces leidt uiteindelijk tot materiaalverlies. Door het behandelen van het oppervlak met bacteriën met een geschikte voedingsstof blijkt in sommige gevallen de aangroei van nieuwe kalksteen aan het oppervlak gestimuleerd te worden. Voor dit proces is een extra stof nodig, die door de bacteriën wordt omgezet in kalksteen. Deze bevinding heeft geleid tot onderzoek naar het innemen van dergelijke twee-componentensystemen, bestaande uit bacteriën en nutriënten, het voedsel, in mortels of beton. Dit moet het mogelijk maken kalkafzetting te creëren aan het gedegradeerde oppervlak of in scheurtjes; ook weer een vorm van zelfherstel.

Een soort vaccinatie

Ten slotte zijn ideeën om onderzoek te starten met als doel om zelfherstellend vermogen te bewerkstelligen bij mortels in geval van andere specifieke vormen van aantasting; de methode waaraan wordt gedacht werkt als een soort vaccinatie. Zoutschade is wereldwijd de belangrijkste bron van schade aan mortels en op mortels gebaseerde afwerkingen (zoals pleisters, maar ook muurschilderingen) in monumenten. Er bestaan zogenaamde kristallisatie inhibitoren die naar zich laat aanzien in mortels kunnen worden ingemengd, en wanneer het probleem zich aandient in de vorm van binnendringend water met zouten, worden geactiveerd door het transport van de zoutoplossing zelf. Ze reizen dan met de zouten mee naar (meestal) een plek nabij het materiaaloppervlak, de verdampingszone, waar de zouten door het opbouwen van kristallisedruk tot grote schade en verwerking kunnen leiden; de inhibitoren zijn dan echter al ter plaatse: als het ware getriggered door en meegereisd met het 'virus' zelf. ◀

Noot

1. www.agentschapnl.nl/programmas-regelingen/iop-self-healing-materials

Toepassingsgebieden zelfherstellende materialen

- Op plaatsen waar je moeilijk bij kunt om (dure) reparaties uit te voeren, zoals op grote hoogte (hoge gebouwen, windturbines op zee), onder de grond (pijpen en leidingen) of onder water (kabels en leidingen).
- Toepassingen waarbij betrouwbaarheid en veiligheid hoog in het vaandel staan, zelfs bij overbelasting of onvoorziene omstandigheden; denk aan vliegtuigen, ruimtevaartuigen of lange-termijn-opslag van nucleair afval.
- Structuren die zeer lang (meerdere tientallen jaren) moeten meegaan, zoals in grote infrastructuurtoepassingen als waterkeringen en tunnels.
- Toepassingen waarbij grote reparaties zorgen voor veel maatschappelijk overlast, zoals reparaties van wegdekken en bij de energievoorziening.
- Bij producten die een 'schadevrij' oppervlak moeten blijven houden vanuit esthetisch (mooi) of beschermend oogpunt, zoals geverfde oppervlakken of coatings die tegen corrosie of te hoge temperaturen beschermen. Maar denk ook aan auto's, optische systemen of ramen.
- Hightech apparatuur voor de productie van hoogwaardige producten; dit zijn machines waarmee doorgaans continu — 24 uur per dag en 7 dagen per week — wordt gewerkt, en waarbij uitvaltijd tot een minimum moet worden beperkt.

Auteurs: Sybrand van der Zwaag werkt bij Novel Aerospace Materials groep, Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, TU Delft en is voorzitter van het nationale IOP onderzoeksprogramma Self Healing Materials. Eddy Brinkman werkt bij Betase in Barchem en is voorzitter van de Bond voor Materialenkennis. Rob van Hees werkt bij R-MIT, Faculteit Bouwkunde, TU Delft en is lid van het Conservation Technology team van TNO Delft.