

Nieuwe **mate**

Zonder innovatie geen toekomst? Dat zou je kunnen denken bij het lezen van het motto van de Materialendag 2007 in het Belgische Grobbendonk: “Innovatieve materialen bepalen de toekomst”. Ach, metalen, kunststoffen en oersterke vezels zijn al heel lang de belangrijkste ingrediënten van materialen. Maar deze dag blijkt dat er met de slimme verdeling van vezels, het gebruik van deeltjes met nano-afmetingen of het verwerken van thixotroop magnesium toch opzienbarend materiaalnieuws valt te melden. Dat nieuwe combinaties van zulke ingrediënten een uitdaging betekenen, wordt aan het eind van de Materialendag treffend geïllustreerd door het verhaal over de Volvo Ocean Race. Het kiezen van het juiste materiaal betekent daar letterlijk het verschil tussen winnen en verliezen. En dat geldt mutatis mutandis ook voor de materiaalkeuzes bij innovaties in de precisietechnologie.

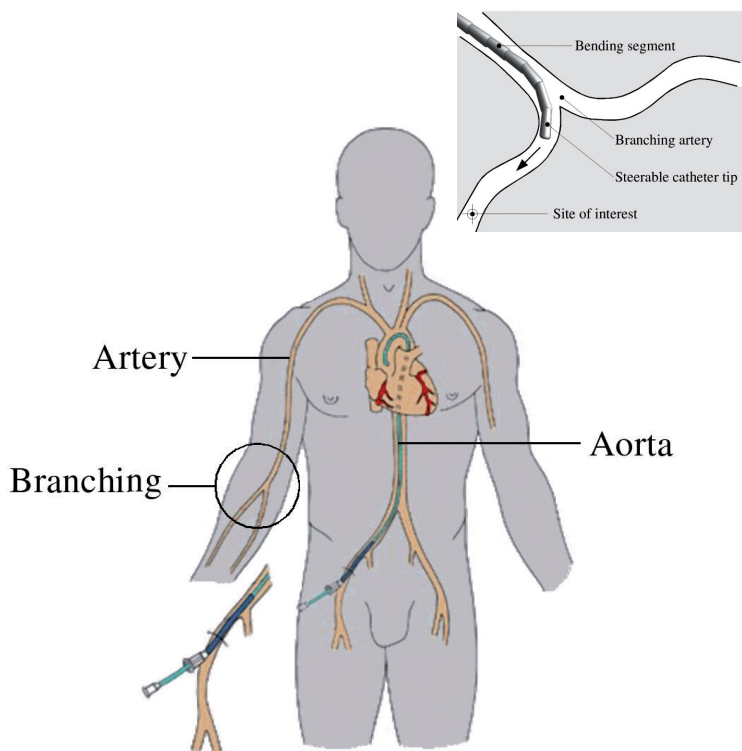
• **Frans Zuurveen** •

De Materialendag is een gezamenlijke activiteit van Sirris en het Mikrocentrum. Voor Nederlandse precisietechnologen: Sirris is een collectief centrum van de Belgische technologische industrie, dat bedrijven adviseert en begeleidt bij het invoeren van technologische innovaties. Sirris dateert van 1949 en heeft nu een jaaromzet van 20 miljoen euro. De dag begin november 2007 wordt geopend door Geert Hellings van het Mikrocentrum en Philippe Cardinael van Sirris als dagvoorzitter. Daarna houdt Walter Bogaerts een inleiding over EuroMaT, European Technology Platform on Advanced Engineering Materials and Technologies. Bogaerts is hoogleraar aan de KU Leuven-MTM en vertelt dat in EuroMaT ruim 700 Europese organisaties samenwerken. Vervolgens zijn er zes parallelle sessies – Sports/Medical, Nanomaterials, Automotive, Energy, Traceability en Sustainable Material Management – waarvan hier voornamelijk de twee eerstgenoemde aan bod komen.

Geheugenmetaal

Matthijs Langelaar van de TU Delft laat zien hoe catheters bestuurbaar kunnen worden gemaakt door het toepassen van geheugenmetaal. Vervormd geheugenmetaal heeft de eigenschap dat het bij temperatuurverhoging door fase-transformatie naar de oorspronkelijke vorm terugkeert. Diverse legeringen vertonen dat effect, maar Ni-Ti-legeringen zijn het meest geschikt. Voordelen zijn de grote krachten en vervormingen, nadelen de traagheid en de hysteresis. De traagheid is het gevolg van de tijd die nodig is voor opwarmen, de hysteresis is te wijten aan het verschil in temperatuur tussen, bijvoorbeeld, de overgang van martensiet naar austeniet en het omgekeerde proces. Desondanks maken de grote krachten en vervormingen geheugenmetaal goed bruikbaar in actuatoren.

Materialen dagen uit



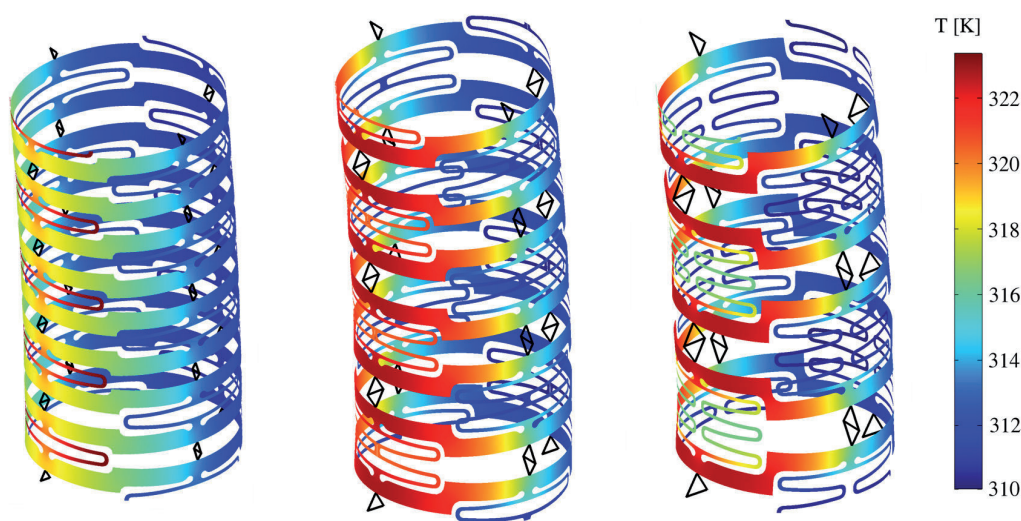
Afbeelding 1. De splitsing van aders; de inzet toont de bestuurbare tip van een catheter.

Catheters vinden vooral toepassing bij het onderzoek van bloedvaten. De arts ondervindt daarbij het probleem dat bij een splitsing van het bloedvat de tip van de catheter soms moeilijk in de juiste richting kan worden gestuurd, zie Afbeelding 1. De oplossing is het bestuurbaar maken van de tip. De TU Delft heeft een ontwerpstudie voor een actief bestuurbare catheter verricht waarin geheugenmetaal is toegepast, dat lokaal via elektrische stroom wordt verwarmd. Gezien de toepassing dient de opwarming begrensd te blijven tot 49 °C. Er is aan de TU een simulatiemodel ontwikkeld waarmee de temperatuurverdeling en bijbehorende vervorming kan worden bepaald, waardoor optimalisatie van het ontwerp mogelijk is, zie Afbeelding 2.

Geheugenmetaal kan ook door middel van sputteren worden opgebracht. Dat opent perspectief voor de toepassing van dat materiaal in microsystemen: micromechatronica. Naast de grote krachten en vervormingen die bij actuatie met geheugenmetaal beschikbaar zijn, is er op microschaal een bijkomend voordeel: de tijd die voor opwarmen en afkoelen nodig is, neemt sterk af, waardoor responsietijden in de orde van milliseconden haalbaar zijn.

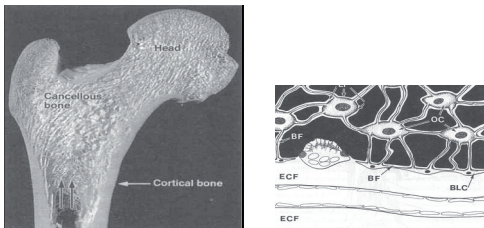
Aanpassen aan levend weefsel

Jos van der Sloten, hoogleraar Biomechanica aan de KU Leuven, legt uit dat botweefsel een intelligent materiaal is,



Afbeelding 2. Geometrie en temperatuurverdeling als resultaten van een simulatiemodel voor een bestuurbare catheter van geheugenmetaal.

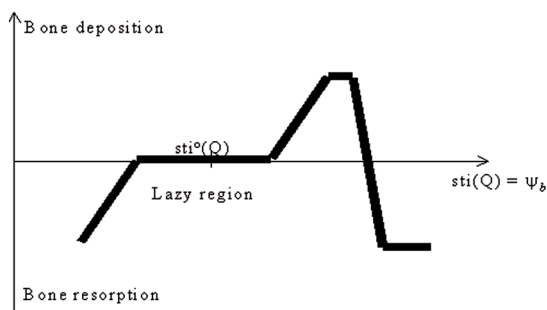
want het reageert via inwendige sensoren op uitwendige – biomechanische en biochemische – stimuli. Die sensoren zijn cellen die de kracht op het bot meten en zorgen dat er met een minimale hoeveelheid materiaal een maximale sterkte en stijfheid wordt bereikt, zie Afbeelding 3. Ook hier is een model ontwikkeld, in dit geval om het dynamische proces van botvorming te simuleren. Met gesinterd, sponsachtig gestructureerd titaan met geringe soortelijke dichtheid blijkt het mogelijk de stijfheid van biologisch bot te evenaren.



Afbeelding 3. De kop van een dijbeen. Rechts cellen die reageren op biomechanische en biochemische stimuli.

Gebruikelijke botimplantaten van massief titaan zijn mechanisch vaak onvoldoende biocompatibel. Dat betekent, onder meer, dat botweefsel kan gaan degenereren. Want de krachtsensoren in het bot zorgen dat er bij grote mechanische spanningen bot wordt aangemaakt en bij geringe of ontbrekende spanning bot wordt afgebroken, zie Afbeelding 4. Massieve implantaten nemen de krachten op die normaliter op het bot werken, waardoor het onbelaste botweefsel er omheen wordt afgebroken. Dit effect wordt ‘stress shielding’ genoemd.

In de Leuvense groep Biomechanica wordt enerzijds onderzoek gedaan naar sterke lichtgewichtmaterialen die compatibel zijn met de bionische systemen in het lichaam, ander-

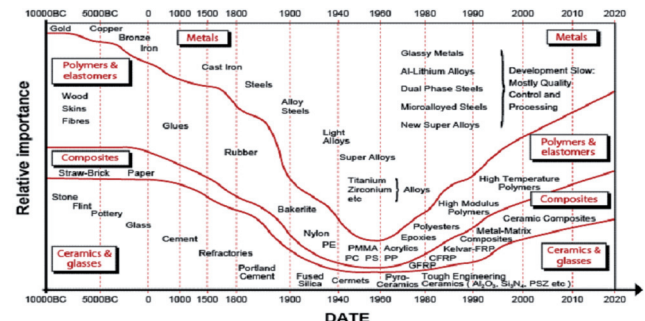


Afbeelding 4. Botvorming als functie van de intensiteit van biomechanische prikkels (horizontale as).

zijds naar materialen die het lichaam beschermen tegen uitwendige invloeden. Voorbeelden van het laatste zijn nieuwe materialen voor fietshelmen en voor het gelijkmatig ondersteunen van het lichaam bij zitten en liggen.

Medische composietmaterialen

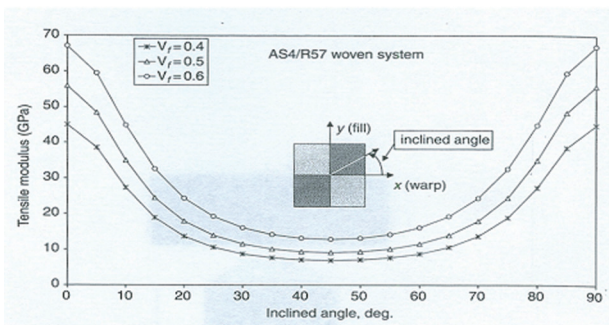
Prof. Ignaas Verpoest, eveneens van de KU Leuven, vertelt dat composietmaterialen – naast hun hoge stijfheid en sterkte – een aantal bijkomende voordelen voor medische toepassingen hebben. Ze kunnen een overbrugging zijn tussen aan de ene kant te stijve metalen en keramieken en aan de andere kant te slappe kunststoffen. Bovendien is er door lokale variatie van de richting en dichtheid van vezelstructuren een nauwkeurige afstemming van de eigenschappen mogelijk.



Afbeelding 5. Relatieve verdeling van materiaalsoorten in de loop van de tijd (volgens prof. Michael F. Ashby, Cambridge, Verenigd Koninkrijk).

Afbeelding 5 laat zien hoe materialen in de loop der eeuwen kwantitatief zijn te verdelen in diverse ondersoorten. De grafiek maakt duidelijk dat composietmaterialen, kunststoffen en keramieken steeds meer de metalen gaan verdringen – hetgeen overigens wel geweldige investeringen vergt. Qua specifieke sterkte en stijfheid (σ/ρ en E/ρ) zijn composietmaterialen in het voordeel vergeleken met staal, glas en hout. Belangrijk is de oriëntatie van de vezels ten opzichte van de richting van de belasting, zie Afbeelding 6.

Voor medische toepassingen is het van belang dat de mechanische eigenschappen stuurbaar zijn via de architectuur en aard van de vezels, terwijl het matrixmateriaal kan worden afgestemd op het omringende weefsel. Van de interne en uitwendige toepassing van composietmaterialen geeft Verpoest de volgende voorbeelden.

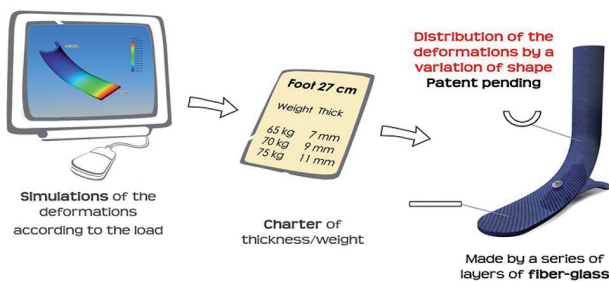


Afbeelding 6. Elasticiteitsmodulus van glasweefselgewapende kunststof als functie van de vezeloriëntatie voor materialen met verschillende vullingsgraad V_f .

Conventionele dijgewricht-implantaten hebben, zoals hier voor al vermeld, het bezwaar van stress shielding. Met composietmateriaal is het mogelijk een dijgewricht-implantaat zo op te bouwen dat het zachte matrixmateriaal zich goed aanpast aan de botstructuur, terwijl de vezels zorgen voor de benodigde stijfheid en sterkte. Zo ontstaat een opbouw die enigszins vergelijkbaar is met de vezelstructuur van het oorspronkelijke bot, zie Afbeelding 7. Voor derdewereldlanden is een kunstvoet van composietmateriaal ontworpen die lokaal met een eenvoudige mal kan worden vervaardigd, zie Afbeelding 8. De vezelwapening



Afbeelding 7. Een dijgewricht-implantaat met zacht matrixmateriaal voor de complexe vorm en met vezelwapening voor de benodigde stijfheid en sterkte (prof. Zako, Osaka University, Japan).



Afbeelding 8. Het ontwerpen van een kunstvoet van composietmateriaal. Sterkte en stijfheid zijn individueel aanpasbaar via vorm en dikte (Sébastien Dubois, Canada).

zorgt voor sterkte en stijfheid, de kromming van de prothese voor bewegingssoepelheid. Een materiaal met een soort gebreide wapening in een open ‘ademende’ structuur leverde een fietshelm met veel bescherming en een hoog draagcomfort (KU Leuven).

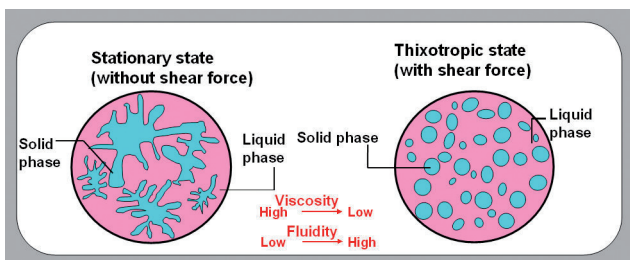
Thixotrop gieten

Op het eerste gezicht lijkt het merkwaardig dat er vanuit het maken van ligfietsen expertise in een geavanceerde materiaalvormtechnologie ontstaat. Johan Vrieling van Flevobike in Dronten legt uit dat die overgang helemaal niet zo merkwaardig is, want Flevobike fabriceert niet alleen ligfietsen van eigen ontwerp, maar is ook toeleverancier van halffabrikaten voor andere fietsfabrikanten.

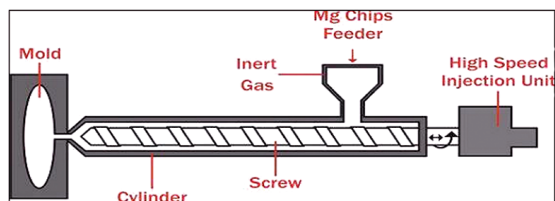
Bij het ontwerpen van fietsen die geavanceerder zijn dan de conventionele ‘Hollandse fiets’, blijkt er behoefte aan materialen die licht, stijf en sterk zijn. Daaraan voldoen weliswaar de gehardsoldeerde stalen buizen waaruit fietsen traditioneel zijn opgebouwd, maar die buizen beperken de ontwerper wel in zijn vormgeving. In iets mindere mate geldt dat ook voor het gelaste aluminium waaruit tegenwoordig fietsframes worden gemaakt. Minder vormbeperkingen gelden er voor giet- en perstechnieken, maar die vereisen investeringen in duur gereedschap.

Spuitsieten en verloren-was-gieten zijn oude technieken met een beperkte nauwkeurigheid. Recentelijk is in Amerika het zogeheten Thixomolding® ontwikkeld, dat gebruik maakt van de eigenschap dat vloeibaar magnesium thixotrop gedrag kan gaan vertonen: bij toenemende schuifbelasting neemt de viscositeit van de vloeistof af. Thixomolding (ook wel roergieten geheten) is een éénstapsproces: van magnesiumchips via een spuitgietmachine naar het product. De chips worden in het aanvoergeedeelte van de machine verwarmd tot ongeveer 100 °C onder de smelttemperatuur. Er ontstaat dan een vloeistof met een hoog gehalte aan vaste delen, die een dendritische structuur hebben. Door het kneden en roeren in het aanvoergeedeelte van de machine veranderen de dendritische delen in fijne bolletjes, waardoor de viscositeit veel lager wordt, zie Afbeelding 9. Zo is de massa gemakkelijk te verplaatsen en vult deze de matrix tot in de diepste holten, zie Afbeelding 10. De meest gebruikte legering is AZ91D (magnesium met 9% aluminium en 1% zink; de letter D geeft de zuiverheid aan).

Het kenmerkende verschil tussen hogedrukspuitsieten en Thixomolding is dat het materiaal zich bij het vullen van



Afbeelding 9. Thixomolding berust op het omzetten van dendrische delen (links) in fijne bolletjes, waardoor de viscositeit veel lager wordt.



Afbeelding 10. Het Thixomolding-spuitsietproces. De magnesiumchips worden omgezet in een thixotrope massa, die de matrijs tot in de diepste holten vult.

de matrijs in het eerste geval turbulent en in het tweede geval laminair gedraagt. Daardoor, en door de lage krimp, is de maatnauwkeurigheid hoger (toleranties $\pm 0,1$ mm) en de porositeit geringer ($< 2\%$). Een hogere complexiteit van het product is mogelijk en een wanddikte vanaf 0,5 mm is realiseerbaar.

Afbeelding 11 laat zien dat 55 onderdelen van een chequesorteeremachine konden worden vervangen door één Thixomolded onderdeel. Afbeelding 12 toont de GOCycle, een geavanceerde stadsfiets die dankzij Thixomolding in grote aantallen tegen relatief lage prijs kan worden geproduceerd. De GOCycle is een ontwerp van Richard Thorpe, afkomstig van autobouwer Lotus. Het fietsframe is geconstrueerd als een gesloten, stijve doosconstructie waarin de aandrijving stofvrij is geïntegreerd.



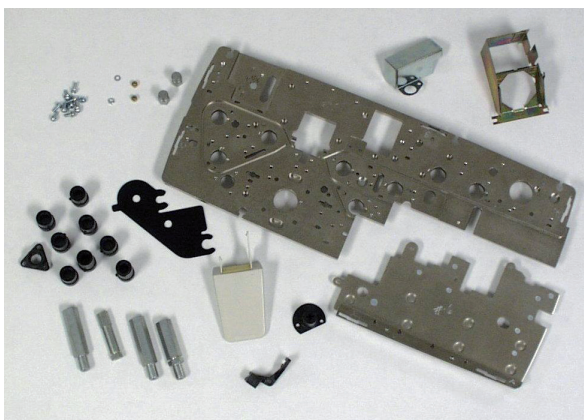
Afbeelding 12. De GOCycle is een geavanceerde stadsfiets die dankzij Thixomolding in grote aantallen tegen relatief lage prijs kan worden geproduceerd.

Nanodeeltjes

Umicore is een conglomeraat van ondernemingen op het gebied van materiaaltechnologie. Het is de voortzetting van het vroegere Union Minière en heeft wereldwijd 17.000 medewerkers op 50 locaties in dienst. Yves van Rompaey vertelt dat de nanomaterialen van Umicore toepassing vinden in katalysatoren voor auto's, in oplaadbare batterijen en in substraten voor zonnecellen.

Is 'nano' een hype of een realiteit met toekomst? Van Rompaey legt uit dat materiaaleigenschappen dramatisch veranderen met de afmetingen van deeltjes. Chemisch gezien kan materiaal van inert veranderen in actief, hetgeen de toepassing van edelmetalen en oxiden in katalysatoren verklaart. Optisch gezien kan materiaal van gekleurd in volkomen transparant overgaan, hetgeen toepassing vindt in UV-absorberende lagen. Thermisch kan materiaal van stabiel in een bij lage temperatuur sinterend materiaal veranderen, hetgeen de toepassing van zilver in micro-printplaten verklaart. Nanodeeltjes maken dus nieuwe miniatuur-

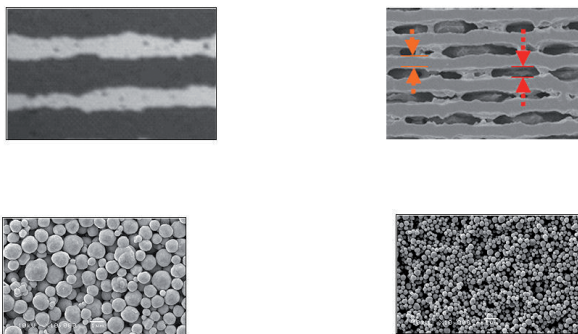
producten mogelijk, zoals MLCC's, oftewel Multilayer Ceramic Capacitors. Een probleem kan de toxiciteit van nanodeeltjes zijn in verband met de inademing van fijnstof; de diameter van oxide-deeltjes ligt tussen 20 en 85 nm. Toxiciteit is een controversieel punt, dat in ieder geval aandacht behoeft.



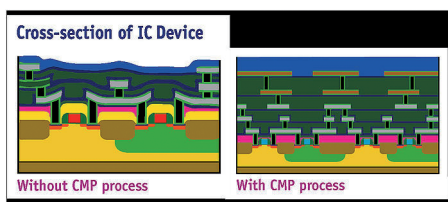
Afbeelding 11. Eén Thixomolded onderdeel van een chequesorteeremachine vervangt 55 afzonderlijke onderdelen (rechts).

Synthese, dispersie en karakterisatie zijn de drie pijlers van de ontwikkeling van nanotechnologie bij Umicore. Synthese vanuit de gasfase, neerslag uit de vloeistoffase en vermalen zijn de drie synthesesmethoden die Umicore toepast. Bij dispersie is het van groot belang de technologie nauwkeurig af te stemmen op de toepassing. Voor karakterisatie zijn diverse analysetechnieken bruikbaar, bijvoorbeeld SEM (Scanning Elektronen Microscopie) voor de deeltjesverdeling, TEM (Transmissie Elektronen Microscopie) voor morfologie en AFM (Atomic Force Microscopy) voor oppervlakte-analyse.

Afbeelding 13 toont de voortschrijdende miniaturisatie van MLCC's. Een andere interessante toepassing is die van nanodeeltjes CeO_2 – met commerciële naam NanoGrain Ceria – bij het polijsten van Si-wafers voor de IC-fabricage. De polijstechniek heet CMP, Chemical Mechanical Planarization. Het vlakke CMP-oppervlak leidt tot hogere IC-opbrengsten en maakt het mogelijk meer functies per oppervlakte-eenheid te realiseren, zie Afbeelding 14.



Afbeelding 13. De voortschrijdende miniaturisatie van MLCC's. In 2002 werden de Ni-lagen (linksboven) gevormd uit deeltjes van 800 nm (linksonder). In 2007 zijn de lagen (rechtsboven) gevormd uit deeltjes van 200 nm (rechtsonder).



Afbeelding 14. Chemical Mechanical Planarization leidt in de IC-fabricage tot hogere opbrengsten en maakt meer functies per oppervlakte-eenheid mogelijk.

Ten slotte

Het interessante relaas van beroepszeiler Hans Bouscholte over de Volvo Ocean Race, zie Afbeelding 15, hoort eigenlijk niet thuis in een vakblad voor precisietechnologen. Maar het leert wel hoe de juiste keuze van materialen van vitaal belang kan zijn. Wedstrijdzeilschepen hebben een over $\pm 40^\circ$ in dwarsrichting kantelbare kiel met het doel zoveel mogelijk de verticale stand van de zeilen te handhaven en zo de maximale hoeveelheid wind te vangen. Daarvoor is wel een opening in de romp van het schip nodig, die wordt afgedicht door een met de kiel meebewegende afdekkap. Als die kap van composietmateriaal het begeeft, stroomt het zeewater onherroepelijk naar binnen, zoals Bouscholte bij zijn rivalen heeft zien gebeuren. Zo'n vaart loopt het wellicht niet altijd bij precisietechnologische materiaalkeuzes, maar je weet maar nooit! Dus, bezint erge met een nieuw materiaal begint!



Afbeelding 15. De Brunel, een van de deelnemers aan de Volvo Ocean Race 2005-2006.

Auteursnoot

Frans Zuurveen is freelance tekstschrjver te Vlissingen.

Informatie

walter.bogaerts@mtm.kuleuven.be
 m.langelaar@tudelft.nl
 jos.vandersloten@mech.kuleuven.be
 ignaas.verpoest@mtm.kuleuven.be
 info@flevobike.nl
 yves.vanrompaey@umicore.com
 incentives@bouscholte.nl
 www.mikrocentrum.nl
 www.sirris.be