

iPOLYCOND

conductive polymers

Nederlands





Stel je eens voor ...

Je mobiele telefoon ligt op je bureau, dicht bij de speakers van je computer. Een paar seconden voordat er een telefoontje of SMS-je binnenkomt op je mobiele telefoon hoor je een zoemend geluid via de speaker. Is de speaker helderzinnig geworden? Nee hoor. De draad naar de speaker werkt hier als een antenne die het signaal vanuit het mobiele netwerk oppikt en versterkt. Dit is een typisch voorbeeld van elektromagnetische interferentie tussen elektronische componenten, en het laat zien dat elektromagnetische velden overal om ons heen zijn.

Om gevoelige elektronische componenten tegen ongewenste elektromagnetische interferentie te beschermen wordt doorgaans een afschermend materiaal geplaatst tussen de bron van het elektromagnetische veld en de gevoelige component.

iPolyCond geleidende polymeercomposieten bestaan uit materialen die in staat zijn om elektronische componenten tegen elektromagnetische interferentie (EMI) en elektrostatische ontlading (ESD) te beschermen. Dit boekje behandelt enkele achtergronden en praktische aspecten van geleidende polymeercomposieten voor afschermingsdoel-einden.

Inhoud

De uitdaging ... elektromagnetische interferentie	4
De oplossing ... geleidende polymeercomposieten	6
Vergelijking met alternatieve oplossingen	9
Ontwerp en verwerking	10
Typische iPolyCond materiaaleigenschappen	12
Toepassingen	14



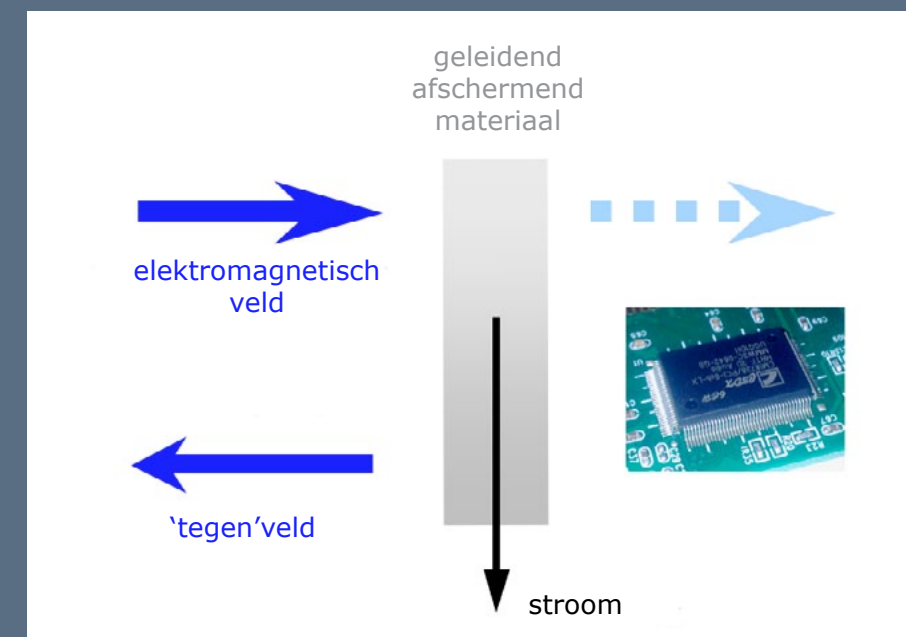
De uitdaging ...

elektromagnetische interferentie

Ongewenste effecten door elektromagnetische interferentie treden op wanneer gevoelige componenten elektromagnetische straling opvangen die - al dan niet opzettelijk - wordt uitgezonden door andere elektr(on)ische apparaten zoals magnetrons, draadloze computers, radio's en mobiele telefoons. Met als mogelijk gevolg dat de 'getroffen' componenten gestoord worden of defect raken.

De effecten van elektromagnetische interferentie zijn steeds prominenter aanwezig, veroorzaakt door de vraag naar steeds *snellere* elektronische apparaten die bij hogere frequenties werken, het *intensievere* gebruik van elektronica in bijv. computers, communicatieapparatuur en auto's, en de *miniaturisering* van deze elektronica. Mobiele telefoons en smartphones werken bijvoorbeeld typisch bij 800-4900 Mhz, en rond de 2 GHz voor gegevensoverdracht via Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS). Compacte, dicht opeen gepakte elektronische componenten produceren meer elektronische ruis.

Deze trends maken de noodzaak duidelijk om componenten te beschermen tegen elektromagnetische interferentie (EMI), om de kans te verkleinen dat deze componenten elkaar of 'de buitenwereld' negatief beïnvloeden. De effecten van elektromagnetische interferentie kunnen worden verminderd door een afschermend materiaal te plaatsen tussen de bron van het elektromagnetische veld en de gevoelige component. Deze afscherming kan tot stand worden gebracht door de behuizing van elektronische componenten elektronisch geleidend te maken.



Elektrische geleidbaarheid is een vereiste voor een EMI-afschermend materiaal. Dit is het gevolg van het fysische verschijnsel dat elektrische velden en variabele magnetische velden stromen induceren in het elektrisch geleidende afschermingsmateriaal. Deze stromen genereren op hun beurt 'tegen'velden die de oorspronkelijk aangelegde velden verzwakken of in het ideale geval opheffen. In het ideale geval blijven externe velden buiten het afschermingsmateriaal, en blijven interne velden hierbinnen.

Omdat EMI-afscherming is samengesteld uit reflectie- en absorptiebijdragen kan zowel de geleidbaarheid in het volume van het beschermende materiaal als de dikte van het materiaal van belang zijn. Praktisch gesproken wordt de mate van afscherming ook beïnvloed door de grootte en vorm van openingen in de afscherming. Zo moet voor een effectieve EMI-afscherming bij een frequentie van 5 GHz de opening kleiner zijn dan 52 mm.

Sterk gerelateerd aan EMI-afscherming is de bescherming tegen elektrostatische ontlading (electrostatic discharge, ESD) in elektronische apparatuur. ESD is de ongecontroleerde overdracht van statische lading tussen twee voorwerpen met verschillende elektrische potentiaal. Voor ESD-bescherming is oppervlaktegeleidbaarheid van belang, om een snelle en gecontroleerde ontlading van statische lading mogelijk te maken.

De oplossing ...

geleidende polymeercomposieten

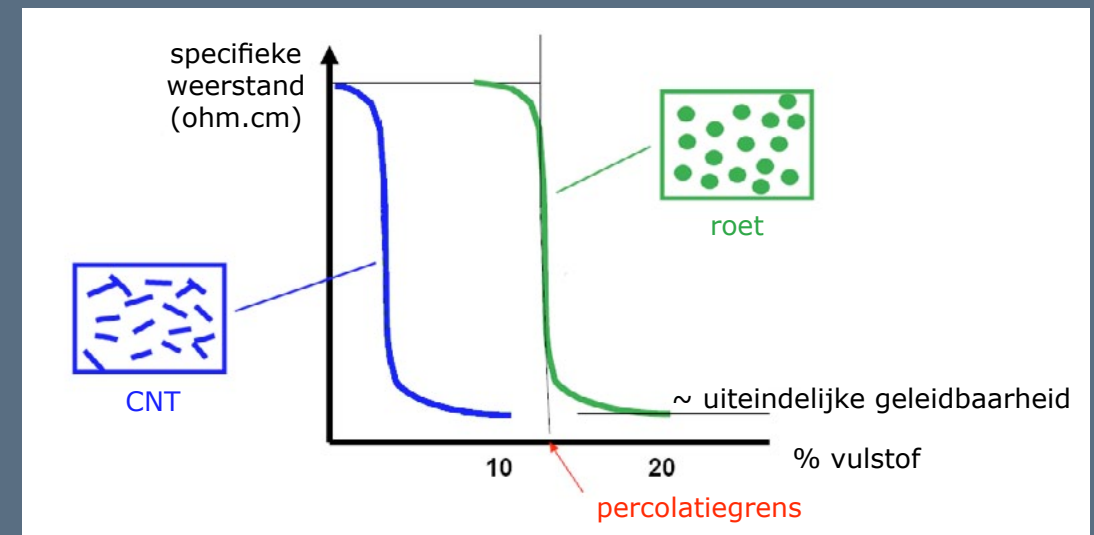
Behuizingen voor elektronische producten (bijv. computers en communicatieapparatuur) en zakelijke apparatuur (inclusief betaalapparatuur) zijn vaak gemaakt van technische kunststoffen. Een specifiek probleem voor afscherming is dat kunststoffen doorgaans uitstekende elektrische isolatoren zijn; ze worden immers niet voor niets gebruikt als isolatie voor elektrische bedrading. Met een typische elektrische geleidbaarheid van $<10^{-14} \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ kunnen deze technische kunststoffen elektronica niet beschermen tegen elektromagnetische straling. Voor EMI afscherming moet de geleidbaarheid minstens $10^{-2} \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ zijn, wat overeenkomt met een specifieke (volume)weerstand van $<10^2 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$.

Als je een matrix van kunststof vult met kleine volume fracties aan elektrisch geleidend materiaal, dan combineer je de beschikbaarheid van een behuizing gemaakt van afschermend materiaal met de voordelen van traditionele kunststofverwerkende technieken. Deze voordelen zijn onder meer het gebruik van bestaande (spuitgiet)apparatuur - waardoor je geen grote nieuwe investeringen hoeft te doen - en het gemak om kleine, complexe vormen van dit composietmateriaal in één processtap te maken.

Diverse vulstoffen kunnen worden gebruikt. Traditioneel worden metaal- of roetdeeltjes vaak gebruikt als elektrisch geleidende vulstoffen. Een hoog gehalte aan deze vulstoffen kan nadelig zijn voor de verwerkbaarheid, dichtheid en oppervlaktekwaliteit van het materiaal, de kosten en mechanische eigenschappen van het vormgegeven product, en kan ervoor zorgen dat de verwerkingsapparatuur eerder slijt. Daarom is een interessante oplossing om nieuwe vulstoffen te gebruiken zoals geleidende koolstof nanobuisjes (carbon nanotubes, CNT) met een gehalte dat zo laag mogelijk is. Op deze manier verkrijgt het materiaal geleidbaarheid en voldoende mechanische stabiliteit, terwijl de oorspronkelijke kunststofverwerkende eigenschappen hetzelfde zullen blijven.

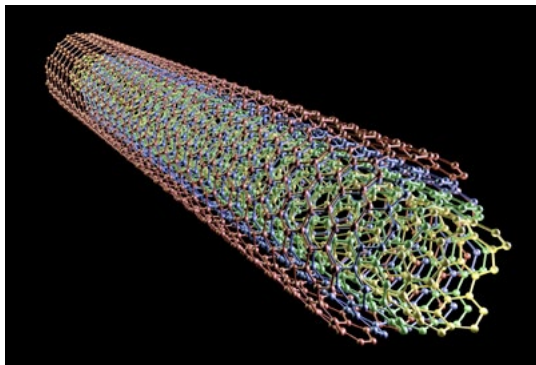
Wanneer de concentratie aan elektrisch geleidende deeltjes in zo'n composiet een bepaald gehalte overschrijdt (de 'percolatiegrens'), dan komen de deeltjes met elkaar in contact en vormen ze een continu pad in het materiaal waarlangs elektronen zich kunnen voortbewegen. Op deze manier is het composietmateriaal elektrisch geleidend geworden. De geleidbaarheid van de vulstof vormt de bovenste begrenzing voor de elektrische geleidbaarheid van het gehele composiet.

De percolatiegrens hangt af van de vorm van de geleidende deeltjes. Voor traditionele bolvormige deeltjes die willekeurig verdeeld zijn in een composietmateriaal moet $\sim 10\text{-}20\%$ worden toegevoegd voordat het composiet elektrisch geleidend zal worden. Hoe groter de aspect-ratio (verhouding lengte/breedte) van de deeltjes is, des te lager de benodigde concentratie is om percolatie te laten plaatsvinden. CNT met een diameter van een paar nanometer en een lengte van micrometers (d.w.z. een grote aspect-ratio) kan een geleidend netwerk vormen bij veel lagere volumefracties - en mogelijk lagere kosten - dan goedkopere, traditionele vulstoffen zoals koolstofvezels en roetdeeltjes.



Geschikte matrixpolymeren	Eigenschappen/voordelen van deze polymeren met CNT
Polypropyleen (PP)	Goede taaheid mogelijk
Polyamide 12 (PA 12)	Elektrische isolatie, goede chemische bestendigheid
Polyamide 6/66 (PA 6/66)	Taai, eenvoudig vorm te geven, goede temperatuurbestendigheid
Polycarbonaat (PC)	Veel betere eigenschappen dan met roet te verkrijgen zijn
Polycarbonaat/Acrylonitril-Butadieen-Styreen (PC/ABS)	Zeer goede taaheid en goede vervormbaarheid
Polycarbonaat/Polybutyleen-tereftalaat (PC/PBT)	Zeer goede taaheid voor behuizingen met UV-bestendigheid
Glasvezel-versterkt polyfenyleensulfide (PPS)	Zeer hoge stijfheid en zeer goede temperatuurbestendigheid
Thermogehard polyurethaan (PU)	(Zeer) grote vormen

De vermenging van kleine volume fracties nieuwe, niet-metallische elektrisch geleidende vulstoffen in een niet-geleidende plastic matrix door middel van spuitgieten als eenstapsproces vormt de basis voor iPolyCond geleidende polymeercomposieten. De vulstoffen die hier gebruikt worden zijn koolstof nanobuisjes (CNT). Van CNT, en dan vooral de meerwandige variant (multi-wall carbon nanotubes, MWCNT) die kan worden omschreven als meerdere lagen grafiet in elkaar gerold, is bekend dat ze elektriciteit geleiden.



Vergelijking met alternatieve oplossingen

Vanwege hun hoge elektrische geleidbaarheid ($\sim 10^6 \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) zijn vooral metalen geschikt als afschermingsmateriaal tegen elektromagnetische velden. Dit kan een volledig metalen afscherming zijn, maar ook een geleidende coating (bijv. nikkel) op een dragermateriaal zoals plastic. Een andere optie is de vermenging van metaal (bijv. roestvast staal of RVS) poeder of vezels als geleidende vulstof in een plastic matrix.

Er zijn echter een paar nadelen aan het gebruik van metaal als afschermingsmateriaal. Het gewicht van het 'zware' metaal kan een probleem zijn bij een volledig metalen afscherming en plastic matrices met een hoog gehalte aan metalen vulstoffen, vooral bij toepassingen waar het gewicht zo laag mogelijk moet zijn. Verder zijn metalen gevoelig voor corrosie. Om metalen coatings te produceren zijn ten minste twee verwerkingsstappen nodig - één voor het dragermateriaal en één voor de coating - en dit kan kostbaar zijn. Het kan ook lastig zijn om deze coatings aan te brengen op voorwerpen met een ingewikkelde vorm. Bovendien moet de hechting van de coating aan de drager op de lange termijn betrouwbaar zijn.

Ontwerp en verwerking

De meest gebruikte techniek voor het vormgeven van complexe plastic producten (bijv. behuizingen voor elektronische toepassingen) is spuitgieten. Vele parameters kunnen worden gevarieerd bij het spuitgietproces, en vele van deze parameters kunnen een positieve (+), negatieve (-) of neutrale (0) invloed hebben op het afscherpende vermogen van het product:

Parameter	Volume-weerstand	Oppervlakte-weerstand	Reflectie
Temperatuur van de matrijs neemt toe	-	+	0
Temperatuur van de matrijs hoger dan T_g	-	+	-
Spuitgietsnelheid neemt toe	---	++	-
Wanddikte neemt af			++
Afstand vanaf de opening neemt toe			+
Oppervlaktetextuur		0	
Stromingsrichting		-	



Om afschuiving te minimaliseren tijdens het vullen van de spuitgietmatrijs is het aan te raden om scherpe hoeken in plastic onderdelen te vermijden. Al tijdens de ontwerpfase van het product moeten we scherpe hoeken vermijden, en grote stralen gebruiken om stroming van de geleidende smelt te vergemakkelijken.

Door lage snelheden met een bredere spuitgietopening te combineren wordt de stroming van de geleidende plastic in de holte vergemakkelijkt. Op deze manier is het mogelijk om een complete vulling van de holte tot stand te brengen zonder dat de injectiesnelheid hoeft te worden verhoogd. Hogere snelheden vergroten de mogelijkheid van afschuifspanningen in het gespuitsgiete product.

Het is mogelijk om voor producten dezelfde diktes te gebruiken die doorgaans bij 'normale' thermoplastische vormgeving worden gebruikt. Het gebruik van producten die dikker of dunner zijn wordt bepaald door de uiteindelijke eigenschappen of speciale eisen die tijdens gebruik moeten gelden. Volgens onze ervaring worden de beste reflectiewaarden verkregen met producten die minder dik zijn.

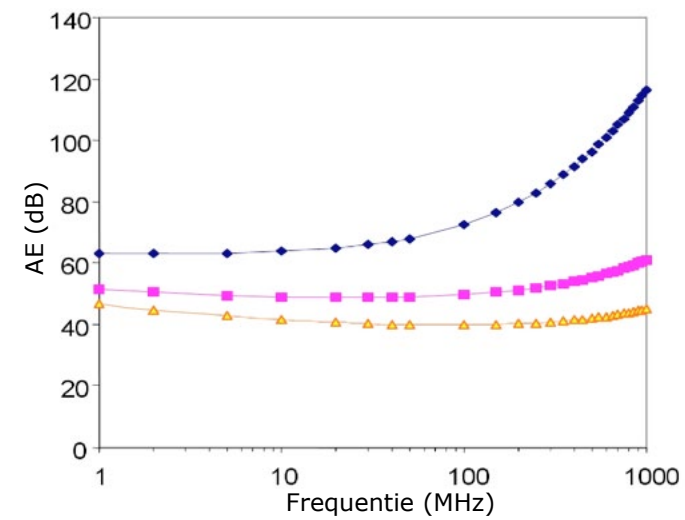
Voor composieten met CNT en staalvezel als vulstoffen is het noodzakelijk om extreem lange stromingslengtes te vermijden. Hoe langer de stroming, des te meer afschuiving de composieten ondervinden, wat nadelig kan uitwerken voor de vezels.

Op basis van onze ervaring dient de spuitgietmatrijs zodanig te worden ontworpen dat turbulentie van de smelt minimaal is. Aanspuitopeningen (gates) en aanspuitkanalen (runners) moeten hierdoor groter zijn dan bij niet-gevulde plastics, en vergelijkbaar qua grootte met andere vezel-gevulde materialen.

Voor geleidende composietmaterialen geldt als richtlijn een minimale diepte van de aanspuitopeningen van 1,5 mm, met een voorkeursdiepte van 2,3 tot 2,5 mm. Meerdere aanspuitopeningen kunnen nodig zijn om de beste dispersie te verkrijgen.

Volledig ronde aanspuitkanalen hebben de voorkeur voor optimale stroming.

Typische iPolycond materiaaleigenschappen



iPolyCond polycarbonaat hybride materiaal met nanobuisjes en RVS-vezels

Polycarbonaat met RVS-vezels

Polycarbonaat met nanobuisjes

Elektrische eigenschappen

Volumeweerstand (ohm.cm)	Oppervlakteweerstand (kohm/sq)	Reflectie (%)	Afschermings-effect bij 100 MHz (dB)
7×10^{-3}	100	76	37
700	10-1000	69	34
320	900	69	34
6	10-50	86	47
90	20-200	61	31
0,8	10-50	89	53
1000	20-2000	62	31

Mechanische eigenschappen

Materiaal	
9103	PP + CNT
9104	PP + CNT/hybride
9303	PC/ABS + CNT
9603	PC/PBT + CNT
9604	PC/PBT + CNT + SS
9703	PC + CNT
9704	PC + CNT + SS
9705	PC + CNT vlamvertragend

Trekspanning bij breuk (MPa)	Rek bij breuk (%)	Elasticiteitsmodulus (MPa)	Buigmodulus (MPa)	Slagvastheid (kJ/m ²)
20,6	80	1010	942	42
15,9	20,3	990	1020	9,3
41	18,9	2633	2075	21,1
47,9	13	2520	2339	36,7
60,3	4,3	2450	2840	10,1
61,9	8,0	2570	2703	7,1
64,9	7,1	2700	3020	8,8
65,0	12	2700	3100	11,0

Toepassingen

Auto-onderdeel met EMI-afschermende eigenschappen

Oorspronkelijke behuizing: metaal (hoge mate van afscherming, duur fabricageproces, zwaar, beperkingen in ontwerp)

iPolyCond-oplossing: polypropyleen met polyaniline en koolstof nanobuisjes, met de vereiste EMI-afscherming

Verbeteringen: ontwerpflexibiliteit, gewichtsreductie, 25% goedkoper, te recyclen



Bloeddrukmeter

Oorspronkelijke behuizing: PC/ABS gevuld met RVS-vezels (moeilijk te fabriceren, eindproduct schoot tekort vanwege slechte fysische eigenschappen)

iPolyCond-oplossing: PC/ABS gevuld met koolstof nanobuisjes, met ten minste 30 dB afscherming

Verbeteringen: verbeterde taaiheid, te recyclen, eenvoudig te vervaardigen, betere oppervlaktekwaliteit

Toepassingen

Militaire radio met zeer goede EMI-afscherming

Oorspronkelijke behuizing: metaal (hoge mate van afscherming, duur fabricageproces, zwaar, beperkingen in ontwerp)

iPolyCond-oplossing: PC/PBT met koolstof nanobuisjes en RVS vezels, met 60 dB afscherming

Verbeteringen: verbeterde taaiheid, eenvoudig vormgegeven, 60% gewichtsreductie, 40% goedkoper



Aardingspen voor Engelse gearde stekker

Oorspronkelijk: messing aardingspen (duur, specialistisch product)

iPolyCond-oplossing: polycarbonaat met koolstof nanobuisjes

Verbeteringen: eenvoudig te fabriceren, 80% gewichtsreductie, stekker is 40% goedkoper, te recyclen





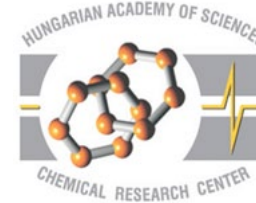
Dit boekje is gefinancierd met steun van de Europese Commissie. De verantwoordelijkheid voor deze publicatie ligt uitsluitend bij de auteurs; de Commissie kan niet verantwoordelijk worden gesteld voor het gebruik van de informatie die erin is vervat.



iSmithers
<http://www.ismithers.net>



British Plastics Federation
<http://www.bpf.co.uk>



Chemical Research Center - Hongaarse
Academie voor Wetenschappen
<http://www.chemres.hu>



VTT
<http://www.vtt.fi>



Asociación de Investigación de Materiales
Plásticos
<http://www.aimplas.es>



TBA Electro Conductive Products
<http://www.tbaecp.co.uk>



Faperin
<http://www.faperin.com>



Promolding
<http://www.promolding.nl>



Betase
<http://www.betase.nl>



EuPC
<http://www.plasticsconverters.eu>



iPOLYCOND
conductive polymers

<http://www.ipolycond.org>

