

WHITEPAPER

PRODUCTIE VAN KOOLSTOFVEZELS EN DE TOEPASSING IN MODERNE ELEKTRISCHE VOERTUIGEN

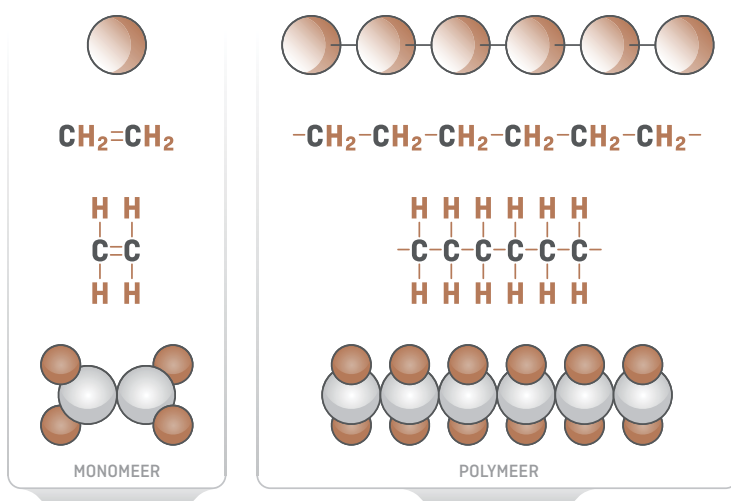
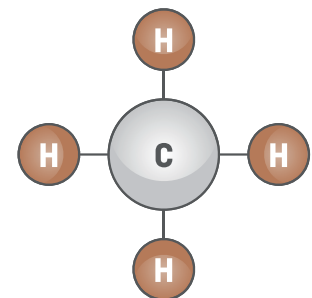
WAAROM KOOLSTOF?

De integratie van koolstof in de auto-industrie is geen nieuwe ontwikkeling en heeft een lange geschiedenis in de Formule 1. In de Formule 1 draait het om de snelheid, waarbij gewicht een kritieke factor is die de snelheid beperkt. Als gevolg hiervan zoeken ingenieurs in de racewereld voortdurend naar vooruitgang in materialen die zowel lichter als sterker zijn. Koolstof, oorspronkelijk afkomstig uit de luchtvaartindustrie, werd geïntroduceerd als een oplossing om aan deze behoefte te voldoen en is sindsdien naadloos geïntegreerd in de bredere auto-industrie.

Het behalen van topsnelheid is echter geen prioriteit bij de ontwikkeling van bussen, en als gevolg hiervan was het gebruik van koolstof nog niet geïncorporeerd. Dit veranderde echter met de introductie van elektrische voertuigen, wat de noodzaak met zich meebracht om langere afstanden af te leggen met minder batterijen. Het balanceren van het gewicht van de batterijen vereiste een lichter casco, waardoor de noodzaak ontstond om materialen op de meest efficiënte manier te gebruiken. Hoewel staal sterk en duurzaam is, is het veel dichter en zwaarder in vergelijking met koolstofvezel. Om dezelfde sterkte te krijgen die met koolstof bereikt kan worden zal er een aanzienlijk grotere hoeveelheid staal vereist zijn, resulterend in meer gewicht.

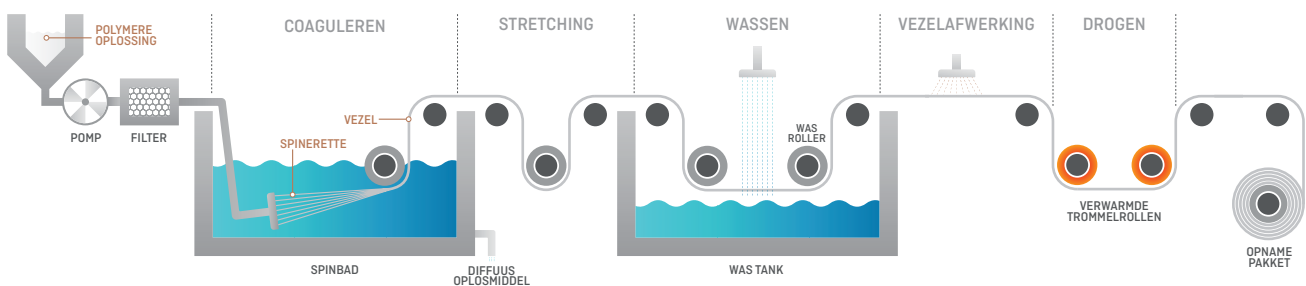
EEN POLYMEER GEKENMERKT DOOR STERKTE

Koolstofvezel kan worden gemaakt van twee bronmaterialen: Pitch-based of PAN-based koolstof. PAN staat voor 'Polyacrylonitril' en PAN-based materialen worden gebruikt in consumentenproducten zoals auto's. De pitch-based koolstof vertoont exotische eigenschappen en wordt gebruikt in toepassingen waar extreme eigenschappen vereist zijn en de kosten van beperkt belang zijn, zoals satellieten en ruimtevoertuigen. Polyacrylonitril (PAN) is een uitgangsmateriaal voor koolstofvezel en komt, net als de meeste andere kunststoffen, voort uit aardolie. Er zijn echter ontwikkelingen om materialen voor koolstof te creëren uit hernieuwbare bronnen.



Voor zowel het op aardolie gebaseerde als het hernieuwbare polymeer begint het proces met polymerisatie. Polymerisatie is een chemisch proces waarbij monomeren (kleine, eenvoudige moleculen) chemisch aan elkaar worden gebonden om een grote, complexe structuur te vormen die een polymeer wordt genoemd. Polymeren kunnen verschillen en hebben een breed scala aan eigenschappen. De monomeren, die fungeren als kleine bouwstenen, worden aan elkaar gekoppeld om het polymeer te vormen. In het geval van PAN is het gekozen monomeer acrylonitril.

Acrylonitrilmonomeren ondergaan een chemische reactie die bekend staat als polymerisatie. Het polymerisatieproces begint met een initiatiefase. Initiators, die chemische verbindingen of andere bronnen van energie kunnen zijn, activeren bepaalde plaatsen op de acrylonitrilmoleculen. Deze activatie maakt de moleculen reactiever. Deze reactie houdt in dat de individuele monomeren met elkaar verbonden worden om een lange ketenpolymeer te vormen. Het resulterende PAN-polymeer kan worden verwerkt tot een poedervorm. Dit PAN-poeder dient als het uitgangsmateriaal voor de productie van koolstofvezels. Het ondergaat verdere verwerkingsstappen, waaronder spinnen, stabilisatie en carbonisatie, om het om te zetten in hoogwaardige en lichtgewicht koolstofvezels die worden gebruikt in diverse industriële toepassingen.



HET PROCES VAN VEZELVORMING

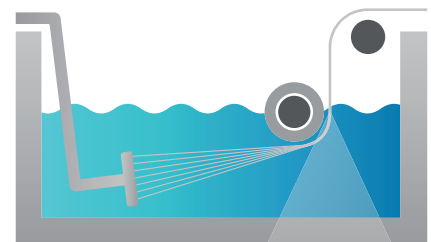
PAN-poeder (polyacrylonitril) wordt via een reeks stappen omgezet in koolstofvezels.

STAP 1: OPLOSSEN VAN PAN-POEDER

Het PAN-poeder wordt opgelost in een verwarmde vloeistof. Deze vloeistof is meestal een oplosmiddel dat helpt bij het oplossen van PAN, waardoor een stroperige oplossing ontstaat.

STAP 2: FILAMENTEN SPINNEN

Na het oplossen wordt de PAN-oplossing gefilterd om eventuele onzuiverheden of onopgeloste deeltjes te verwijderen. Het gefilterde resultaat wordt vervolgens door een spinnerette geleid, een apparaat met kleine gaatjes, om continue filamenten te vormen. De spinnerette vormt de vloeistof tot lange, dunne draden.



STAP 3: BEHANDELINGSPROCES

De gevormde filamenten ondergaan een reeks behandelingen om ze om te zetten in koolstofvezels.

Uitrekken: De eerste behandeling voor de filamenten bestaat uit het rekken van de polymeerketens om ze te oriënteren en een moleculaire structuur uit te lijnen. Dit rekken verbetert de sterkte en stijfheid van de vezels.

Wassen: De gerekte filamenten worden gewassen om eventueel achtergebleven oplosmiddel en bijproducten van het spinningsproces te verwijderen.

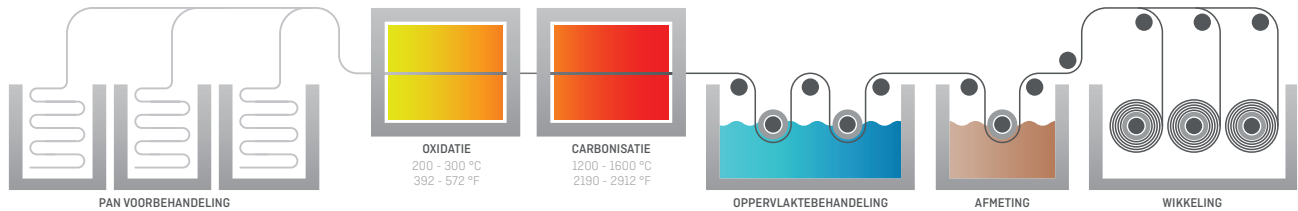
Toepassing van vezelafwerking: Een afwerking, vaak een coating, wordt aangebracht op de vezels om hun hantering te verbeteren, te beschermen tegen beschadiging en de hechting met andere materialen in composiettoepassingen te verbeteren.

Drogen: Als afsluiting van het behandelingsproces worden filamenten gedroogd om eventueel achtergebleven vocht te verwijderen.



STAP 4:

De gedroogde filamenten worden vervolgens onderworpen aan een reeks ovens op hoge temperatuur in een oxidatieproces.



Tijdens de oxidatie worden de filamenten blootgesteld aan lucht bij hoge temperaturen. Deze stap zet de PAN-moleculen om in ladderachtige structuren, waarbij geoxideerd PAN (OPAN) ontstaat. Het oxidatieproces is cruciaal voor het creëren van het uitgangsmateriaal dat nodig is voor carbonisatie.



STAP 5:

De geoxideerde PAN-vezels gaan vervolgens nog een keer door een oven, maar deze keer in een omgeving zonder zuurstof (of in een atmosfeer met inert gas). Deze behandeling op hoge temperatuur, bekend als carbonisatie, zorgt voor de verwijdering van niet-koolstofelementen, waardoor een vezel overblijft die voornamelijk uit koolstof bestaat. Tijdens deze verhittingsprocessen veranderen de koolstofvezels van wit naar zwart.

STAP 6:

Na de carbonisatiestap kunnen de koolstofvezels een extra behandeling ondergaan om hun eigenschappen te optimaliseren voor specifieke toepassingen. Na de oppervlaktebehandeling worden de koolstofvezels op spoelen gewikkeld.

VLECHTEN VAN KOOLSTOF

Koolstofvlechten houdt in dat koolstofvezels in meerdere richtingen worden vervlochten om een geweven structuur te creëren. Deze techniek verbetert de structurele integriteit, maakt op maat gemaakte vezeloriëntatie mogelijk, verbetert de weerstand tegen impact en biedt extra kracht. Het proces maakt gebruik van een gespecialiseerde vlechtmachine om koolstofvezel draden te vervlechten. Tijdens het vlechten zijn er verschillende longitudinale draden en draden in beide richtingen van 45 graden. Deze longitudinale draden zorgen voor buigstijfheid. De draden die op 45 graden zijn gepositioneerd, zorgen voor torsiestabiliteit (draairichting). Afhankelijk van de toepassing, en dus de vereiste stijfheid en sterkte, kunnen meerdere gevlochten lagen worden aangebracht. Afvalmateriaal dat overblijft van dit proces, kan worden hergebruikt in andere onderdelen omdat de koolstofvezels hun eigenschappen niet verliezen. Koolstof wordt bijvoorbeeld toegepast in de luchtvaart- en automobielinindustrie.



DE EERSTE BUS MET EEN COMPOSITIE MONOCOQUE

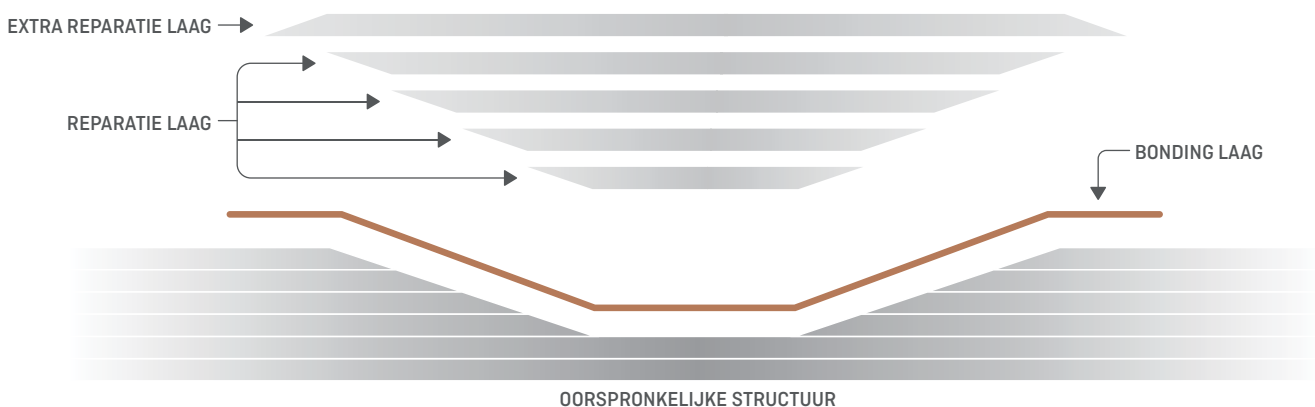
Wat betreft de Ebusco 3.0, die een volledige composiet monocoque heeft, ondergaan de met koolstof gevlochten balken een transformatie tot een composiet. Composieten zijn materialen die gevormd worden door verschillende materialen te combineren. In wezen is een composiet een soort hybride materiaal bestaande uit twee of meer componenten, die samen de gewenste materiaaleigenschappen bieden. Daarom geeft de term "composiet" niet de daadwerkelijk gebruikte materialen aan; het duidt eerder op een categorie van materialen. Over het algemeen bestaan structurele composieten uit vezels, voornamelijk glas, aramide en koolstof, samen met een hars, voornamelijk epoxy of polyester.

Voor de Ebusco 3.0 worden de structuren gemaakt van koolstofvezels en harsinjectie, de rest van de casco-composieten worden gevormd met glasvezels en harsinjectie.

COMPOSITIE REPARATIE

Bussen kunnen miljoenen kilometers rijden gedurende hun levenscyclus en het goede van composietmaterialen is dat ze uitzonderlijk goed te repareren zijn. Met name de luchtvaartindustrie beschikt over uitgebreide expertise in het uitvoeren van structurele reparaties aan onderdelen zoals vleugels en rompen. Op vergelijkbare wijze ondergaan bladen in de windturbine-sector reparaties wanneer dat nodig is, wat de veelzijdigheid en effectiviteit van reparatietechnieken voor composietmaterialen laat zien. Hetzelfde geldt voor de composietbehuizing van de Ebusco 3.0.

Een beschadigd deel kan uit het casco worden gesneden en worden vervangen door een nieuw deel. Na het reinigen van het beschadigde gebied moeten compatibele materialen voor reparatie worden geselecteerd, inclusief de juiste hars en versterkende vezels. Deze materialen worden aangebracht op het beschadigde gedeelte, waarbij wordt gezorgd voor een goede laagstructuur en uitlijning. Wanneer er een voorgeschreven smal toelopende overlapping wordt gecreëerd tussen oude en nieuwe gedeelten, kan de sterkte en stijfheid van de originele structuur worden hersteld zonder of met verwaarloosbaar extra gewicht.



HET EFFECT VAN COMPOSIT

Maar wat zijn de resultaten van deze inspanningen? De Ebusco 3.0, een 100% elektrische bus met een volledig composietcasco met een gewichtsreductie tot 5.000 kilogram, heeft een verbruik van 0,65 kWh per kilometer in normale klimaatomstandigheden. Met dit verbruik kan de bus tot 700 kilometer rijden op één lading, waardoor er geen excuus meer is om niet emissievrij te rijden.

Met verschillende Ebusco 3.0 modellen op de weg en nog meer in ontwikkeling, toont deze benadering zich als bijzonder doeltreffend en daarmee geschikt voor de uitdagingen die gepaard gaan met de overgang naar emissievrij rijden.



EBUSCO[®]

MADE TO MOVE PEOPLE