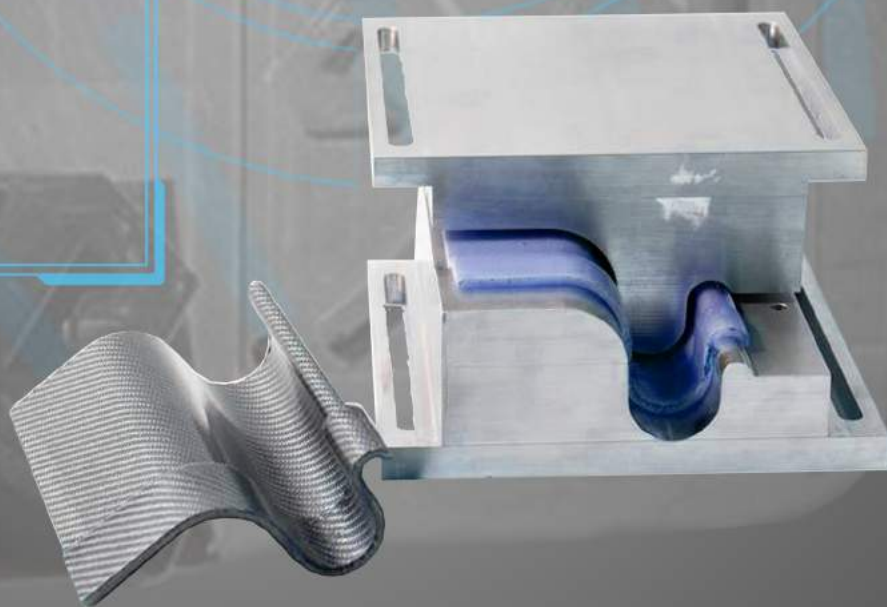


High-Tech Kunststoffen

SIA RAAK MKB: TPC in het MKB



December 2015

LKT-COMH 104167 1501

COLOFON

Titel : SIA RAAK Thermoplastische composieten 'Hightech Kunststoffen'

Datum : Mei 2015

Auteurs: Margie Topp PhD, Freek Noordhuis MSc BSc, Jasper Bouwmeester MSc MBA, Alexander Jansen MSc, Koen Hermans B. Eng, Pieter Schreuder B. Eng.

Met medewerking van:

Beutech Kunststoffen & Bewerking

Bolle Wagenbouw

Cato Composite Innovations

ICO

FFWD

Modified Materials

Novek

OIM Orthopedie

People Creating Value

Ronda!

Vabo Composites

Veldink4kids

Fotografie: Windesheim Zwolle

Dit is een uitgave van Christelijke Hogeschool Windesheim.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

1	Inleiding	2
1.1	RAAK MKB project: Thermoplastisch Composiet	2
2	De markt van thermoplastisch composiet	5
3	Verklarende woordenlijst	8
4	De cases	11
4.1	Beutech	12
4.2	Wagenbouw Bolle.....	19
4.3	Cato Composite Innovations	22
4.4	FFWD	25
4.5	ICO/VABO	31
4.6	Modified Materials	38
4.7	Novek	45
4.8	OIM Orthopedie	51
4.9	People Creating Value.....	58
4.10	Rondal	63
4.11	Rondal	70
4.12	Ten Cate.....	75
4.13	Veldink.....	85
5	Conclusies.....	91
6	Projectpartners.....	95
7	Lectoraat Kunststoftechnologie	96

1 Inleiding



DE PROJECTPARTNERS BINNEN HET MKB PROJECT: TPC

Uw Partner:

Windesheim

Lectoraat Kunststoftechnologie

Bedrijfstad:

Onderzoek naar kunststoffen en composiet

Totaal aantal werknemers:

14 FTE verdeeld over 21 personen

Locatie:

Zwolle

1.1 RAAK MKB project: Thermoplastisch Composiet

Eind 2012 is door het Lectoraat Kunststoftechnologie van de Hogeschool Windesheim een RAAK MKB aanvraag ingediend met de titel: High Tech Kunststoffen, wat in de wandelgangen het TPC project werd genoemd.

Het project heeft ons gebracht van Cetex naar Tepex, van Curv naar Twintex, we hebben op verschillende manieren aan lassen gewerkt, we hebben naar electro magnetic shielding gekeken, naar de mogelijkheden om de composiet delen weer plastisch te vervormen. Daarbij hebben we mogen samenwerken met kleine en grote bedrijven, elk expert op hun eigen gebied.

Na ruim 2 jaar hard werken door 3 docenten, 2 junior onderzoekers, 1 lector en 40 studenten ligt nu het eindresultaat voor u.

Onderzoek door: Freek Noordhuis, Jasper Bouwmeester, Alexander Jansen, Koen Hermans, Pieter Schreuder, Margie Topp.

Onderzoeksvraag

Thermoplastisch composiet was niets nieuws, het bestond al jaren. Door de hoge kostprijs en/ of afwijkende manier waarop het verwerkt moet worden, wordt het tot op heden hoofdzakelijk toegepast in de lucht- en ruimtevaart en in de automobiellindustrie. In 1990 bestond 95% van de composietmarkt uit thermohardende matrixmaterialen, dit is lange tijd zo gebleven, maar in 2005 was het percentage thermoharders al afgenomen naar 66%. Door de trend om steeds meer te automatiseren en milieubewuster composiet te produceren, worden deze materialen met hernieuwde interesse bekeken.

Er zijn zowel voor- als nadelen aan thermoplastisch composiet ten opzichte van thermohardend composiet. Bij de voordelen horen: geen chemie bij verwerking en dus ook geen emissie van vluchtige stoffen, het materiaal leent zich voor geautomatiseerde processen, het heeft een korte verwerkingstijd, het is te verbinden met lastechnieken, is recyclebaar en heeft een hoge impact en chemicaliën bestendigheid. Bij de nadelen horen: hoge matrijkskosten, hoge materiaalkosten en verwerking waarbij controle over druk en temperatuur van groot belang zijn, wat zeker voor commodity composiet veel moeilijker in de verwerking is dan thermohardend composiet.

Daarom werd de uitdaging in dit project om samen met 12 bedrijven, waarvan de meeste MKB, te kijken wat met deze materialen te bereiken was. De onderzoeksvraag luidde: "Onderzoek de mogelijkheden van toepassing van thermoplastische composieten in het MKB met als doel een gelijkwaardiger of mogelijkerewijs hoogwaardiger eindproduct te kunnen creëren die in (kleine) series gemaakt kan worden, waarbij het van belang is om generieke oplossingen te vinden voor de eindspecificaties van het product."

Binnen dit project is het thermoplastisch composiet (TPC) overigens grotendeels ingezet vanwege zijn unieke eigenschappen t.o.v. andere materialen, zoals de mogelijkheden om het bijvoorbeeld opnieuw te vervormen of de mogelijkheid om het te lassen aan een bestaande constructie.

Deelnemende projectpartners

De 12 projectpartners waarmee dit onderzoek werd opgezet zijn:

- Beutech
- Bolle
- Cato Composite Innovations
- FFWD
- Modified Materials
- Novek
- OIM
- People Creating Value
- Rondal
- TenCate
- Vabo
- Veldink

Bij deze bedanken wij hen voor hun deelname, input, inzet en interesse in het project.

Onderzoeksopzet

Per bedrijf is een case gedefinieerd en uitgewerkt. De bedoeling was om deze cases zo uiteenlopend mogelijk uit te kiezen om een goed overzicht van de verschillende eindmarkten, verwerkingsmogelijkheden en materiaaltypes te krijgen, zie figuur 1, 2 en 3.

Doordat de insteek van dit RAAK MKB project was om zo laagdrempelig mogelijk het gebruik van thermoplastisch composiet te onderzoeken, is er zoveel mogelijk gekeken naar eenvoudige verwerkingsmethoden.

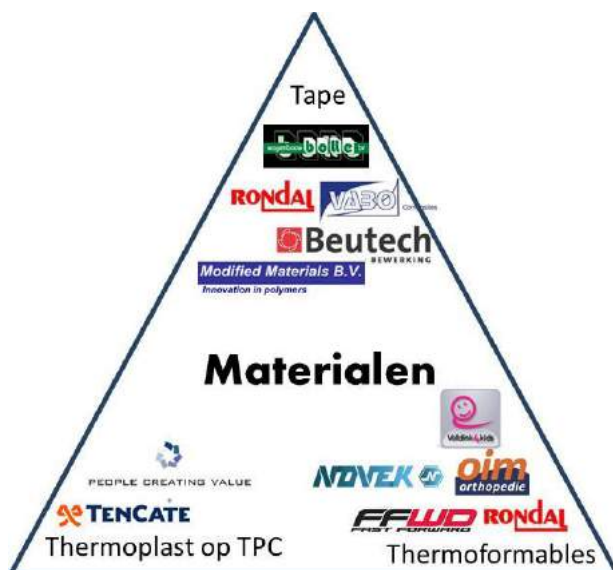
Doordat op de hogeschool niet alle apparatuur aanwezig was, is er ook gebruik gemaakt van de faciliteiten van andere partijen, waarvan we met name CATO Composite Innovations, het Polymer Science Park en Parthian willen noemen.



FIGUUR 1 - EINDMARKTEN BINNEN HET TPC PROJECT



FIGUUR 2 – OVERZICHT GEBRUIKTE VERWERKINGSTECHNIKEN



FIGUUR 3 – OVERZICHT GEBRUIKTE MATERIALEN

Resultaten en Conclusies

Zoals passend bij een lectoraat, een groep voor praktijkgericht onderzoek binnen het HBO, is binnen elk deelonderzoek geprobeerd om zoveel mogelijk richting prototypes te werken.

Per case is een hoofdstuk geschreven maar bedrijfsspecifieke data is soms weggelaten. Aan het eind van dit boekje staat een korte samenvatting van het totaalproject en de generieke conclusies die getrokken konden worden naar aanleiding van het uitgevoerde onderzoek.

2 De markt van thermoplastisch composiet

Iedereen die bekend is met de composiet industrie weet dat het een voorzichtige industrie is, die teert op case history en waar standaards, normen, en backselling een grote plaats heeft en waar goedkeuringsprocessen voor nieuwe materialen in sommige gevallen jaren kunnen duren. De ultieme voorbeelden hiervan zijn de lucht- en ruimtevaart, maar dit geldt ook voor het produceren van buizen of vlamvertragende delen. Over het algemeen alles wat met publieke veiligheid te maken heeft. Zodra de engineers echter een bepaald type laminaat gaan voorschrijven, kunnen materiaalleveranciers jarenlang gaan leveren.

De composiet industrie is altijd redelijk behouden geweest. De kaarten waren redelijk geschud, thermoset had 2/3e marktaandeel, thermoplast 1/3e. Deze twee materiaal categorieën werden redelijk gescheiden door hun verschil in verwerkingsmethoden en prijs maar daarnaast is er zelfs een verschil in de value chain. Waar thermoset harsen en vezelversterking separaat worden verkocht en de composietverwerkers zelf de laminaten maken, voor thermoplast bestaat een geïntegreerde value chain waar de composietverwerkers hun composiet materiaal al vóór-geïmpregneerd als vlakke platen, korrels of tape aangeleverd krijgen omdat voor goede benutting van de vezelversterking hoge temperatuur en druk nodig is – iets wat voor de verwerkers moeilijk uitvoerbaar is.

Het overgrote deel van het thermoplast volume kwam van korrels met korte of lange vezels bestemd voor de automobiel industrie (PA en PP) en E&E (PBT) en werd gedomineerd door de plastics producenten en de Westerse glasvezelproducenten (OCV, PPG, Johns Manville) die goede productconsistentie konden garanderen voor deze geautomatiseerde productieprocessen. Maar omdat het volume laag was ten opzichte van thermoset en de automobielindustrie erg kritisch is wat betreft kosten, werden vergeleken met thermoset relatief weinig grades ontwikkeld voor thermoplast composiet en al helemaal nauwelijks met thermoplast specifieke sizings.

Een kentering in houding werd zichtbaar toen met name door strengere milieueisen, uitstootbeperking en recyclebaarheid, de groeicijfers voor de automobielindustrie voor SFT en LFT geboost werden tot 4-6% vergeleken met 0-2% voor thermoset. Er werd bijvoorbeeld de European Alliance for Thermoplastic Composites (EATC) opgericht in 2000, gevolgd door een stroom aan nieuwe glastypes en uitbreiding van ovenscapaciteit voor het maken van de glasvezels. Een aantal voorbeelden vanaf eind jaren '00 tot nu: Johns Manville's grades Thermoflow 601, 636, 674, 675 of hun reactieve grade StarRovRXN 886 voor PA6, PPG's TUFROV 4589 LFT roving, Owens Corning's HydroStrand 258, Performax SE4850 en SE4849 roving of 3B's SE4740 en SE4535.

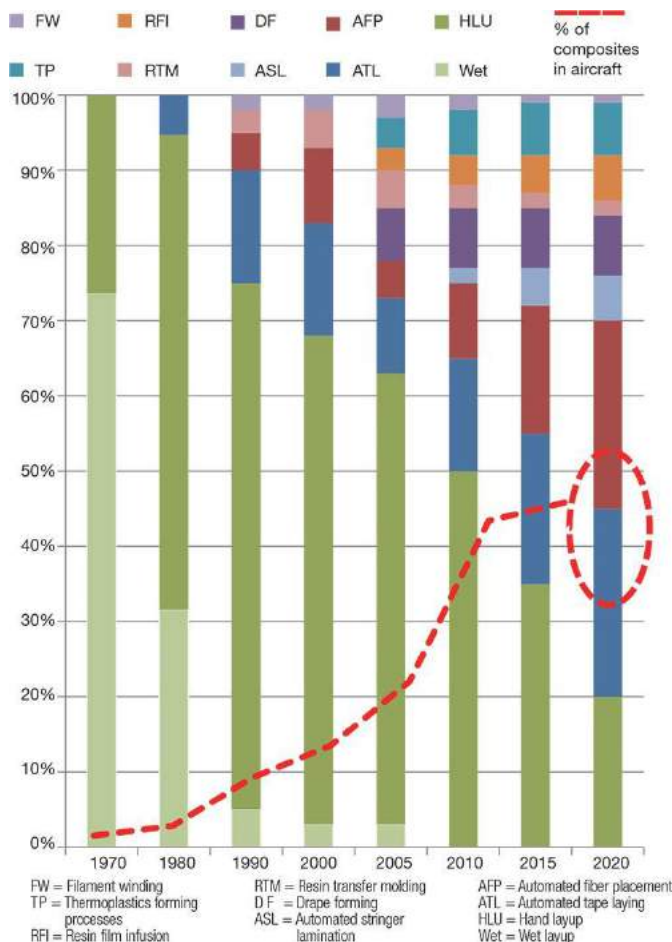
Elders in de value chain gebeurden ook speciale dingen, zoals de marktintroductie van PlastiComp's glas/koolstof hybride pellets 'LFT Complet', de introductie van speciale thermoplast grades zoals Invista's Torzon gemodificeerde nylon 66 met lage viscositeit en hoge vloeif of DuPont's hoge Tg nylon voor overmoulding. Maar er werden ook partnerschappen afgesloten, bijvoorbeeld tussen Owens Corning, BASF en Ten Cate in 2013 maar ook was er de komst van de Chinese speler Jushi naar Europa door middel van een partnerschap met Helm waarbij de focus werd gelegd op de Europese thermoplast markt voor de automobielindustrie. Op dit moment wordt de thermoplastisch composiet markt in China trouwens geschat te groeien met 30% per jaar.

Maar waar de kosten gedreven automobielindustrie aan het ene kant van het spectrum zit, zit de lucht- en ruimtevaart industrie aan de compleet andere kant. Een heel klein volume maar met grote technische uitdagingen en prijstechnisch minder kritisch. Een ander groot verschil is dat in deze markt hoofdzakelijk koolstofvezel wordt benut en dat er vooral in de verwerking in de afgelopen jaren grote stappen vooruit zijn gemaakt, mede dankzij de lange goedkeuringsprocessen.

Er werd al jaren gewerkt met PEEK, PEKK, en PPS vanwege hun inherente vlamvertragendheid gecombineerd met hoge slagvastheid, lage vochtabsorptie en chemische resistentie. Daarnaast werden al PEI en PC gebruikt in het interieur delen van vliegtuigen. Maar de lasbaarheid van TPC heeft er toe geleid dat er de laatste jaren vooral hard gewerkt is aan zaken als ultrasoon- en weerstandslasen waardoor er bijvoorbeeld in die delen van de vliegtuigen

die met ribben worden versterkt, geen klinknagels of lijmverbindingen meer nodig zijn en er dus gewicht bespaard kan worden. Daarnaast heeft de vliegtuigindustrie grote stappen gemaakt in het geautomatiseerd verwerken, waardoor bedrijven als Coriolis Composities zijn opgestaan.

In Nederland zijn we zo gelukkig om een aantal grote spelers op thermoplastisch composiet in huis te hebben. Zo is er TenCate als materiaalleverancier en Fokker, waar veel onderzoek wordt gedaan naar het lassen van TPC materialen. Ook zijn er kennispartners zoals het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR), de Technische Universiteit Delft en het Thermoplastisch composiet Onderzoek Centre (TPRC). Deze laatste werd opgericht in 2008, is gelieerd aan de UT en verricht fundamenteel onderzoek naar de verwerking van TPC. Eén succesverhaal van deze partijen is de Golfteam G650 Rudder and Tail Elevator ontwikkeld door Fokker samen met TenCate, KVE en het Duitse Ticona welke in 2010 de prestigieuze JEC Innovatie Award in de categorie Aeronautica won.



FIGUUR 1 – “CHANGE IN COMPOSITE MANUFACTURING PROCESS VS AIRFRAME CONTENT”, MET TOESTEMMING VAN COMPOSITESWORLD ZOALS VERSCHENEN IN HUN SEPTEMBER 2014 ISSUE VAN HET HIGH-PERFORMANCE COMPOSITES MAGAZINE, MARKTDATA VAN COMPOSITES FORECASTS & CONSULTING LLC

Het moge duidelijk zijn dat Nederland een mooie positie inneemt in de high-end thermoplastische composiet industrie. Het TAPAS programma van Airbus (Thermoplastic Affordable Primary Aircraft Structure), waarbij de volgende Nederlandse consortiumleden meedoen, is een prachtvoorbeeld van samenwerking in de topsport van het TPC: Fokker, TenCate, Airborne Technology Centre, CoDeT, DTC, KE-Works, KVE, Technobis Fibre Technologies, en de kennispartners NLR, Technische Universiteit Delft, Universiteit Twente.

Binnen het RAAK project “High Tech Kunststoffen” hebben we het geluk gehad dat wij te gast hebben kunnen zijn en een kijkje hebben kunnen nemen in de keukens van het TPRC, het NLR, TenCate en Fokker.

Referenties

<http://tprc.nl/>

Thermoplastic Composites – recyclable and fast to process, ReinforcedPlastics May/June 2011, page 22-28

<http://www.compositesworld.com/articles/the-outlook-for-thermoplastics-in-aerospace-composites-2014-2023>

<http://www.ptonline.com/articles/long-fiber-thermoplastics-grab-attention-at-automotive-composites-conference>

<http://www.compositesworld.com/articles/thermoplastic-composites-primary-structure>

<http://www.eatc-online.org/>

<http://www.compositesworld.com/articles/inside-a-thermoplastic-composites-hotbed>

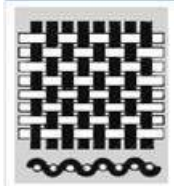
<http://www.tapasproject.nl/en/technologies/long-term-developments>

<http://www.coriolis-composites.com/>

<http://www.plasticsnews.com/article/20140612/NEWS/140619964/owens-corning-reports-booming-sales-in-china>

3 Verklarende woordenlijst

Aramidevezel (Teijin)	Ultra sterke en thermisch resistente vezels bekend om antiballistische eigenschappen.
Cetex (TenCate)	Merknaam van TenCate voor hun thermoplastische composietportfolio van materialen.
Curv (Propex)	Polypropyleen matrix versterkt met polypropyleenvezel.
E-glas	Standaardglas wat het meest gebruikt wordt in de composietindustrie. Het glas bestaat uit oxides van calcium, aluminium en silica.
Elasticiteitsmodulus	Mate van stijfheid van een materiaal, bestaande uit de ratio van spanning in het materiaal veroorzaakt door een externe belasting en de daaruit resulterende elastische vervorming. Voor composiet materialen wordt deze waarde bijna volledig gedomineerd door de vezelversterking.
Electro Magnetic Compatibility (EMC)	Mate van ongewenst effect op materialen door generatie, propagatie en ontvangst van elektromagnetische energie (interferentie, EMI).
Elium (Arkema)	Vloeibare methacrylaat hars die na uitharding niet thermohardend maar thermoplastisch is.
Epoxy	Thermohardende hars die wordt uitgehard met onder andere amines en die onder andere bekend staat om goede chemische resistentie.
Glastemperatuur (Tg)	De temperatuur waarboven een polymeer overgaat van een vaste toestand naar een rubberachtige toestand.
Glasvezel	Vezels gesponnen uit vloeibaar SiO ₂ en andere mineralen. Vertegenwoordigt de bulk van vezelversterking in de composietindustrie.
Glass Mat Thermoplastics (GMT)	Thermoformables, laminaten in plaatvorm van glasmatten met een thermoplastische matrix.
HDPE of: High Density Polyethylene	Hoge dichtheid polyethyleen met een dichtheid van $\pm 0,941\text{g/cm}^3$
Insertmoulding	Spuitsieten om een eerder in de matrix aangebracht deel. Dit deel kan van composiet zijn of van metaal.
Koolstofvezel	Vezels bestaande uit duizenden extreem dunne filamenten koolstof van 5-10 micrometer. Deze hebben een hoge stijfheid en sterkte bij extreem lage rek bij breuk. Wordt geproduceerd uit Pitch of PAN precursors gevolgd door oxidatie en carbonisatie.
Lassen	Het aan elkaar versmelten van, in dit geval, thermoplasten.
<i>Lasklemmen</i>	Drukklemmen die over de hele breedte van het te lassen oppervlak worden aangebracht om wegvloeien van het materiaal te voorkomen en versmelting van de beide plastic helften te bevorderen.
<i>Rotatielassen</i>	Vorm van lassen waarbij de warmte die nodig is voor het versmelten van de oppervlakken wordt gegenereerd door het roteren van het ene deel op het andere (wrijving). Na het bereiken van het smeltpunt wordt gestopt met draaien waarna druk wordt uitgeoefend. Vooral geschikt voor het maken van een kleine las.
<i>Temperatuurlassen</i>	Vorm van lassen waarbij over een groot oppervlak warmte wordt gebruikt om de oppervlakken met elkaar te versmelten. De hittebron kan variëren van infrarood tot heteluchtpistolen.
<i>Ultrasoonlassen</i>	Vorm van lassen waarbij door hoge frequenties (15-70 kHz) plaatselijk warmte wordt gegenereerd.
<i>Weerstandslassen</i>	Vorm van lassen waarbij tussen twee delen over een groot oppervlak warmte wordt gegenereerd door een geleidend materiaal tussen de delen aan te leggen (veelal kopergegas maar ook koolstofvezel kan gebruikt worden) waarna door de geleider stroom wordt geleid. De warmte is dan gelijk aan de stroomsterkte ² x elektrische weerstand x lastijd.

Liner	Letterlijk een 'voering'. Wordt vaak gebruikt in buizen om extra chemische bescherming of lucht/waterdichtheid te creëren.
Matrix	Dat deel in het composiet wat niet verantwoordelijk is voor de mechanische sterkte, thermoplastisch of thermohardend materiaal.
Overmoulding	Spuitsieten op een eerder in de matrijs aangebracht deel. Dit deel kan van composiet zijn of van metaal.
Plain weave	
Polyamide 6 (PA6, nylon 6, polycaprolactam)	Semi-kristallijne polyamide met een Tg van ~55 °C en Tm van ~220 °C.
Polycarbonaat (PC)	Amorf polymeer met Tg ~150 °C.
Polyether-ether-keton (PEEK)	Semi-kristallijne engineering plastic met Tg ~ 140 °C en Tm ~ 340 °C. Hoge thermische bestendigheid en taaiheid.
Polyphenyleensulfide (PPS)	Semi-kristallijne engineering plastic met Tg ~ 85°C en Tm ~ 290 °C. Hoge thermische en chemische resistentie.
Polyethyleen (PE)	De meest geproduceerde plastic, semi-kristallijn met goede chemische resistentie. Tm ~135-155 °C, dichtheid varieert van 0.91–0.96 g/cm ³ afhankelijk van de mate van kristalliniteit.
Polypropyleen (PP)	2e meest geproduceerde plastic, semi-kristallijn met goede chemische resistentie.
Reshaping of: Reforming	Het verwarmen van een thermoplastisch composiet deel totdat plastische vervorming mogelijk wordt, waarna het dimensioneel aangepast kan worden.
Solidworks (Dassault Systèmes)	Solid modeling CAD (computer-aided design) software waarmee onder andere sterkteberekeningen gedaan kunnen worden.
Smelttemperatuur (Tm)	Temperatuur waarboven de kristallijne fractie van een semi-kristallijn polymeer smelt.
Spuitsieten	Productiemethode waarbij gesmolten kunststof door een schroef in de vormholte van een matrijs wordt geïnjecteerd. Wanneer het kunststofdeel afgekoeld is wordt deze uit de matrijs gedrukt.
Tape	Uni-directionele, continue vezel versterkte thermoplastische band.
Tapelaying	Productiemethode waarbij tape gebruikt wordt om composietdelen, veelal plat, te produceren. Vaak een geautomatiseerd proces waarbij een computer gestuurde robot wordt gebruikt (automated tape laying).
TEPEX (Bond Laminates)	Merknaam van Bond Laminates voor hun thermoplastische composietportfolio van materialen.
Thermovormen	Productiemethode waarbij thermoplastisch composiet in plaatvorm wordt vervormd onder druk door middel van een tweezijdige mal.
Thermoplast	Polymeermateriaal wat na verwarming boven de glas- of smelttemperatuur weer plastisch hervormbaar is.
Thermoharder	Polymeermateriaal wat niet plastisch hervormbaar is doordat het materiaal vernet is. Er kan na verwarming wel verweking optreden, deze kritische temperatuur heet de HDT, heat deflection temperature.
Thermoplastisch Polyurethaan (TPU)	Verzamelnamen voor alle thermoplastische polyurethanen.

Treksterkte	Maximale spanning bij plastische vervorming. Voor composiet materialen wordt deze waarde bijna volledig gedomineerd door de vezelversterking.
Twill weave	
Twintex (Fiberglass Industries)	Een gecombineerd vezelmateriaal bestaande uit vezels van PP en E-glas. Dit samengestelde materiaal wordt vaak gewoven en gestikt aangeboden.
Uni-directioneel (UD)	Bij UD vezelmateriaal ligt de vezelversterking in één richting.
Vacuüminjectie	Productieproces waarbij een composiet wordt gemaakt door de (vezel)versterking in de mal aan te brengen, waarna het geheel wordt afgesloten door een vacuümbestendige folie en de vloeibare hars (het matrix materiaal) in het pakket wordt gezogen. Na uitharding kan dan de vacuümfolie verwijderd worden en het composiet deel gelost worden.
Vezeloriëntatie	De hoek waaronder de vezelversterking in het composiet ligt. Omdat de vezels dominant zijn in de mechanische eigenschappen en de spanningen in het matrixmateriaal op de vezel overgedragen wordt, zal in de vezelrichting de sterkte van het materiaal het grootst zijn.
Wikkelhoek	De hoek waaronder materiaal gewikkeld wordt met bijvoorbeeld UD tape of hars geïmpregneerde continue vezel.

4 De cases

4.1 Beutech



TOEPASSING VAN TPC OM STALEN INSERTS OVERBODIG TE MAKEN

Partner:



Bedrijfstak:

Polyethyleen verwerking

Werknemers:

50

Locatie:

Steenwijk

Lokale versteviging van HDPE kokers

Beutech fabriceert een grote variëteit aan HDPE en PVC producten. HDPE is voor veel producten een interessant materiaal, aangezien het een grote chemische resistentie heeft, goed in combinatie met voedselstromen gebruikt kan worden en goedkoop is. Een nadeel zijn de lage mechanische eigenschappen van HDPE, welke potentieel door slim gebruik te maken van TPC verbeterd zouden kunnen worden. Binnen dit onderzoek is aangetoond dat dit voor sommige producten inderdaad mogelijk is.

Onderzoek door: Peter-Bas Schelling, Bernd Zwarthoff, Nikki Kemper, Carlo Aalderink, Klaas Groen

Probleemstelling

Een van de producten die Beutech fabriceert is de zogenaamde Phytobak® (figuur 1). Hierin kan een landbouwer de restanten van gewasbeschermingsmiddelen op een milieuvriendelijke manier afbreken. Dit werkt op basis van kleine organismen die deze stoffen afbreken in ongevaarlijke componenten.

De Phytobak® (1000 x 1500 x 2000mm) is bijna volledig gevuld met teeltaarde, welke uit zeer verschillende componenten kunnen bestaan. Daarnaast zorgt de hoeveelheid materie er voor dat er een significante spanning op de constructie komt te staan.



FIGUUR 1 - PHYTOBAK®

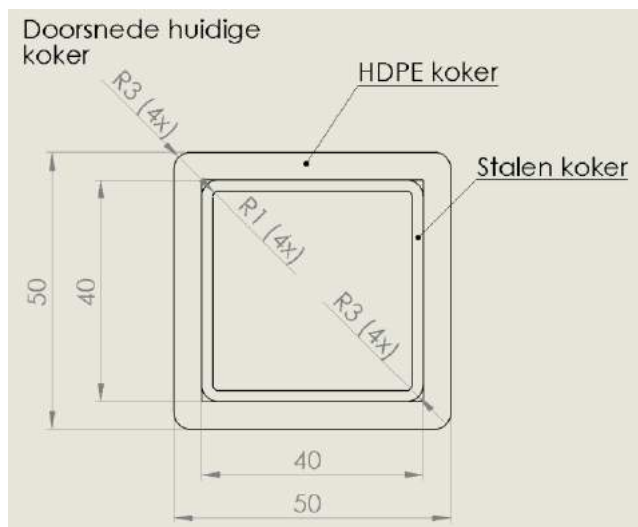
Onversteigd HDPE zou onder deze belasting teveel doorbuigen. Behalve dat dit visueel ongewenst is, geeft dit ook het risico dat de bak aan een van de zijanten zou overstromen. Hierdoor is ervoor gekozen een horizontale balk langs de constructie te zetten, die voor de benodigde stevigheid in de constructie moet zorgen.

Deze balk bestaat uit een stalen koker die in een HDPE koker geschoven wordt. Op deze manier zorgt het staal voor de mechanische eigenschappen en het HDPE zorgt ervoor dat een simpele las verbinding met de bak gemaakt kan worden.

De werking van deze staal/ HDPE kokers is op zich prima, het is echter een vrij dure toevoeging aan de gehele bak en vanuit die gedachte zou het mooi zijn als TPC een goedkoper alternatief zou vormen. Daarnaast is dit probleem als model genomen om te kijken in hoeverre TPC in combinatie met HDPE gebruikt kan worden in bredere zin.

Onderzoeksopzet

Binnen het onderzoek is ervoor gekozen om te focussen op de kokers, en is de rest van de bak buiten beschouwing gelaten. Binnen het onderzoek is in eerste instantie een methode ontwikkeld om TPC tape op de kokers aan te brengen en daarna is gekeken hoe deze kokers zich vervolgens verhouden met de onversterkte en staal versterkte originele HDPE kokers. Als testmethode voor de sterkte en stijfheid is gekozen voor een 3-punts buigproef. Daarnaast is d.m.v. computersimulaties de theoretische doorbuiging van de verschillende kokers berekend om te bepalen in hoeverre het gedrag van TPC verstevigde materialen te voorspellen is.



FIGUUR 2 - HUIDIG KOKER ONTWERP

Materiaalkeuze

Vanwege de compatibiliteit ligt het voor de hand om een HDPE matrix te kiezen voor het toegepaste TPC. Een koolstof vezel zou in theorie de hoogste stijfheidswinst kunnen geven, maar dat is vanwege de hoge kosten voor deze toepassing niet realistisch. Daarom is gekeken naar glasvezel als verstevigingsmateriaal. De kenmerken van de gebruikte tape staan in onderstaande tabel.

Merk/ type	Modified Materials	
E-Modules	50	GPa
Sterkte	1,5	GPa
Vezelvolumen	65	%

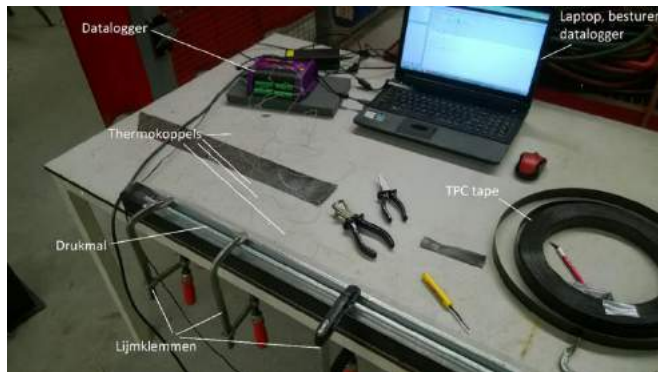
Produceren proefstukken

Er is gekozen voor een lasmethode om de TPC tape te verbinden met de HDPE kokers. Bij het lassen zijn drie belangrijke parameters, namelijk druk, temperatuur en tijd. Ook is het lassen op een laagdrempelige manier uitgevoerd. Bij dit proces is gebruik gemaakt van een aluminiumstrip in combinatie met een u-profiel om de drukmal te verstijven. Stroken van TPC tape werden in de lengterichting op de koker geplaatst en door de mal aangedrukt doormiddel van lijmklemmen (lasklemmen).

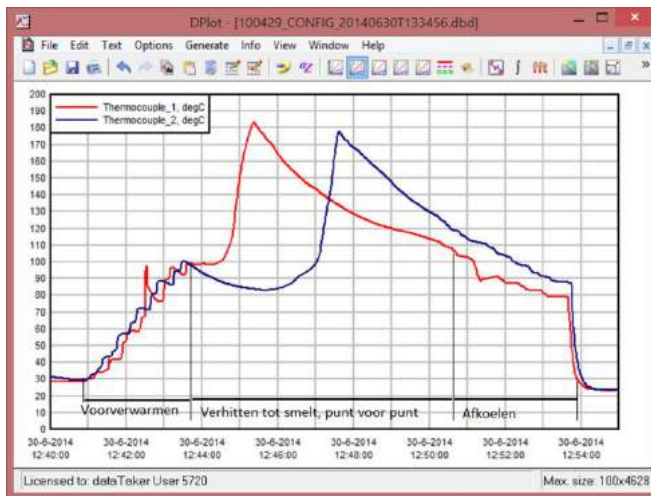
Een heteluchtpistool is gebruikt om de drukmal te verhitten tot iets boven de smelttemperatuur van het HDPE. Door gebruik van thermokoppels is de daadwerkelijke temperatuur in de las gemeten. De opstelling is te zien in figuur 3 en het temperatuursverloop in figuur 4. De druk zorgt voor hechting van de matrix van de TPC tape aan de HDPE

van de koker. De glasvezels werden daarbij met de koker versmolten. De oppervlakte van de drukmal zorgde voor een egale oppervlakte van de las.

Het bleek al snel dat het maken van TPC versterkte kokers niet vanzelfsprekend is. In eerste instantie leek het een goed idee om een stalen koker aan de binnenzijde van de HDPE koker te plaatsen om ervoor te zorgen dat de koker niet teveel indeukt tijdens het aandrukken van de mal. Het bleek echter dat de HDPE koker aan de binnenzijde vervormde, waardoor de stalen koker er niet uit kon worden gehaald zonder schade aan de kunststofkoker. Daarnaast leverden de lijmklemmen bij de eerste lassen een ongelijke druk, waardoor het sample scheef werd.



FIGUUR 3 - OPSTELLING VOOR DE PRODUCTIE VAN DE SAMPLES



FIGUUR 4 - TEMPERATUUR VERLOOP IN DE LAS

Vanuit theoretisch oogpunt hebben vezels die in de lengte richting georiënteerd zijn, en zo ver mogelijk van de neutrale as af liggen, het grootste effect op de stijfheid. Daarnaast is het makkelijker om vezels op trek te belasten dan op druk. Dit betekent dat uit de theorie volgt dat een aantal lagen vezels op de onderzijde van de buis het meest gunstig zou moeten zijn. Aangezien de tapes puur UD zijn, kunnen deze moeilijk onder een hoek aangebracht worden op de zijkant, terwijl een 45° vezelhoek hier ideaal zou zijn. Er zijn wel samples geproduceerd met tape op de zijkant om het effect te bepalen.

De volgende samples zijn geproduceerd:

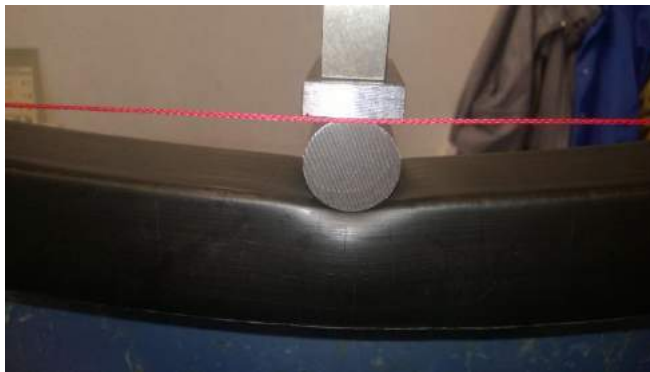
Sample	Opbouw
Ref 1	Niet versterkte koker
Ref 2	Staal versterkte koker
TPC-1	0.4 mm TPC onderzijde
TPC-2	0.2 mm TPC aan onderzijde en beide zijkanten



FIGUUR 5 - OPSTELLING BUIGPROEF

Proefopstelling

De buigproef is uitgevoerd in een 3-punts buig opstelling. Hierbij wordt de aangebrachte kracht per seconde gesampled en de verplaatsing handmatig bepaald met een micrometer. De opstelling is te zien in figuur 5. Een algemeen nadeel van 3-punts buigproeven is dat de plaats van krachtintroductie overeenkomt met de locatie waar de hoogste spanningen optreden. Dit leidt vaak tot falen op de plek waar de kracht aangebracht wordt (figuur 6).

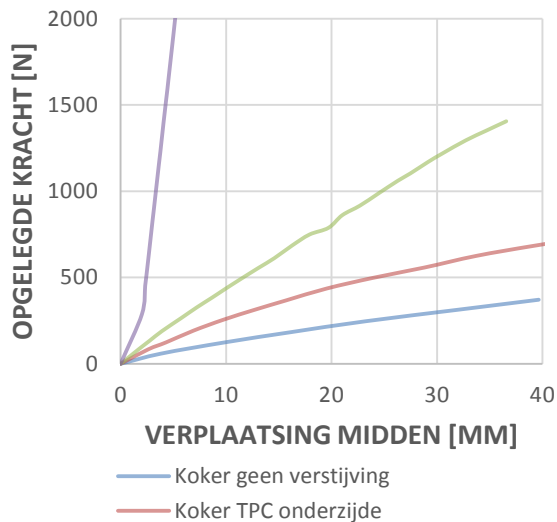


FIGUUR 6 - LOKALE KNIK

Testresultaten

De testresultaten van de buigproef staan in figuur 7. Hierbij valt direct op dat de buis met stalen koker veruit de hoogste stijfheid heeft, wat op zich niet verrassend is. Het valt bij dit resultaat wel op dat er een duidelijke verandering van stijfheid plaatsvindt aan het begin van de curve, dit heeft waarschijnlijk te maken met de HDPE koker die eerst samen gedrukt wordt (figuur 6), waarna het staal pas begint te buigen.

Wat verder opvalt in de resultaten is dat de koker met TPC aan de onderzijde (TPC-1) veel slechter presteert dan met TPC aan de zijkanten (TPC-2), terwijl de vezels wel op de plek zitten waar ze nuttig zouden kunnen zijn. De reden hiervoor blijkt te liggen in de mate waarin de zijkanten kracht kunnen doorgeven; in het geval van TPC-1 blijkt dat de zijkanten uitbuiken en er maar zeer beperkt verplaatsing wordt tegengegaan door de onderkant.



FIGUUR 7 - RESULTATEN BUIGPROEF

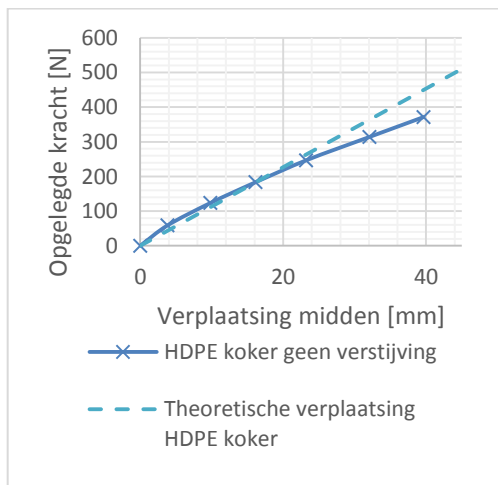
De vraag is nu of deze resultaten te voorspellen zijn, zodat in toekomstige toepassingen vooraf bepaald kan worden wat een succesvolle manier is voor het toepassen van TPC.

Berekening

Van een simpele geometrie als deze kokers is het mogelijk om – onder bepaalde aannames – direct te berekenen hoe de doorbuiging als gevolg van een kracht is. Gesteld dat de doorbuiging puur elastisch is en er geen vervorming optreedt anders dan de doorbuiging, is de verplaatsing van het middelpunt te berekenen met:

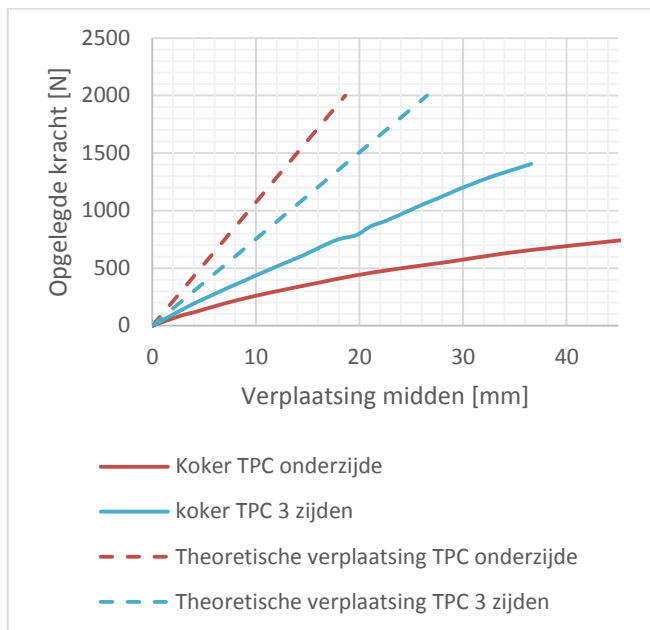
$$\delta = (PL^3) / 48EI$$

Hierin is δ de doorbuiging, P de aangebrachte kracht, L de overspanning (tussen de oplegpunten, dus niet de complete lengte van de koker), E de modulus en I is het traagheidsmoment. In deze situatie zijn E en I de enige variabelen die te beïnvloeden zijn. De volgende figuur laat zien dat voor een onversterkte koker de resultaten vrij aardig overeenkomen.



FIGUUR 8 - KRACHT - VERPLAATSING VAN HDPE KOKER

De verschillen die hierbij optreden zijn waarschijnlijk te wijten aan niet lineair gedrag van het kunststof tijdens het buigen van de koker. De berekening wordt in het geval van een samengestelde koker complexer aangezien de modulus slechts op plekken verandert. Hiervoor moet een samengestelde EI berekend worden uit de originele buis en de aanpassing.



FIGUUR 9 - KRACHT - VERPLAATSING TPC VERSTERKTE KOKERS

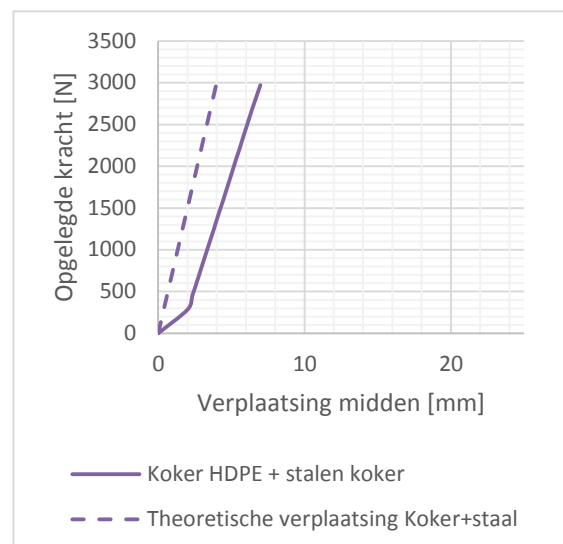
In deze grafiek vallen twee zaken direct op:

1. De voorspellende waarde van de berekening is veel minder goed dan op de onversterkte buis,
2. Voor TPC-1 (TPC aan onderkant) is de voorspelde waarde hoger dan TPC-2, maar de gemeten waarde is juist lager.

Beide verschillen zijn te verklaren door het doorbuigen van de zijwanden. Bij TPC-1 is de onderkant van de koker zo stijf in verhouding met de rest van het product dat elders eerder vervorming optreedt dan in de onderzijde. Dit zorgt er dus effectief voor dat de buis eerder in elkaar gedrukt wordt dan dat er globale doorbuiging op grote schaal optreedt.

In het geval van TPC-2 levert de TPC aan de zijkant ook een beetje weerstand tegen het uitbuiken van deze zijkanen. In combinatie met een iets minder stijvere onderkant, betekent dit dat er een gedrag optreedt dat meer op globale buiging lijkt en hierdoor ligt het ook iets dichterbij de voorspelde waarde.

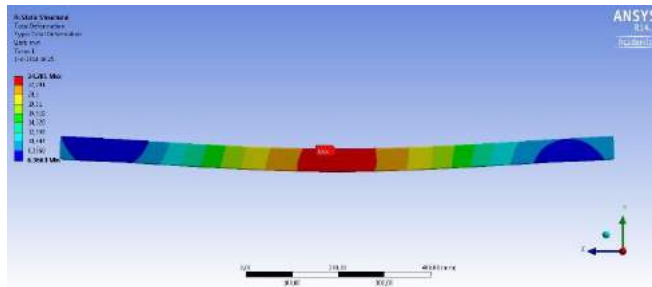
Als laatste is gekeken naar de buis met stalen koker. Hier is duidelijk dat de voorspellende waarde erg goed is, maar dat er geen rekening gehouden wordt met het indrukken van de HDPE buitenkoker. Was deze er niet geweest dan was de voorspelde lijn nagenoeg identiek aan de gemeten lijn geweest.



FIGUUR 10 - STAAL VERSTERKTE KOKER

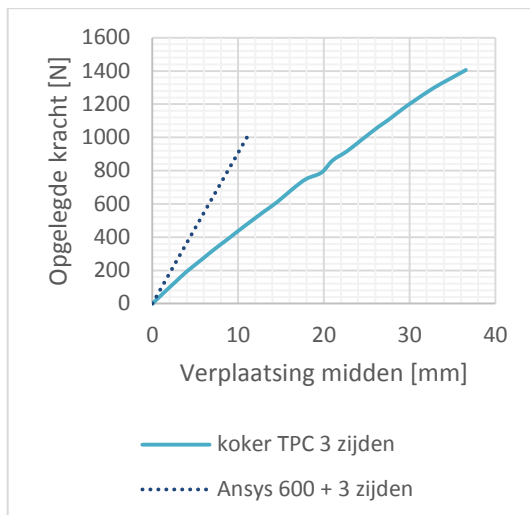
Simulatie

Om te bepalen of het mogelijk is een TPC versterkt HDPE product te simuleren is de koker gemodelleerd in Ansys en zijn hierop vervolgens berekeningen gedaan.



FIGUUR 11 - ANSYS BEREKENING

Het blijkt echter lastig om de contact eigenschappen in een programma als Ansys zodanig in te stellen dat er vergelijkbare effecten rond de kracht introductie plaats vinden. Hierdoor is de respons die Ansys voorspelt veel meer in lijn met de berekende waarden dan met de bepaalde waarden.



FIGUUR 12 - ANSYS BENADERING

Conclusie

Aanbrengen van TPC kan er inderdaad voor zorgen dat een koker stijver wordt, het effect is echter marginaal vanwege de zwakke overbrenging van de krachten door de HDPE zelf. In dit geval is het niet aan te raden het huidige proces van staal versterkte kokers te vervangen, aangezien dit zowel meer stevigheid biedt maar ook goedkoper is.

Er zijn echter wel andere geometrieën te bedenken waar de combinatie van HDPE + TPC een goede kan zijn. Voorbeelden zijn bijvoorbeeld buizen of platen.

Het analytisch voorspellen van het gedrag is door het niet-lineaire gedrag van de geometrie lastig. Met een FEA pakket als Ansys is dit mogelijk alleen vergt het wel redelijk wat tijd om alle parameters goed te krijgen.

De methode van aanbrengen van het TPC is vrij gecontroleerd. In een industriële toepassing zou het echter wel betekenen dat een goed proces nodig is, waar zowel druk als temperatuur goed gecontroleerd moeten worden.

4.2 Wagenbouw Bolle



REALISEREN VAN GEWICHTSBESPARING BIJ STALEN
PROFIELEN MET VOORGESPANNEN THERMOPLASTISCHE TAPE

Verstijven van stalen profielen met TPC-tape

Bij het construeren van aanhangwagens is de grootste uitdaging het beperken van het gewicht. Elke kilogram die bespaard kan worden, zorgt voor een lager brandstofgebruik bij het trekkende voertuig. En niet minder belangrijk: voor elke bespaarde kilo kan een extra kilo lading vervoerd worden. De vraag is of met behulp van thermoplastische tape een stalen profiel lichter gemaakt kan worden met behoud van originele stijfheid.

Onderzoek door: Willem Grisnich en Peter-Bas Schelling

Probleemstelling

Het frame van een aanhanger is opgebouwd uit stalen profielen waar de wielophanging aan en de opbouw op gemonteerd zijn. Een aanzienlijke gewichtsreductie zou behaald kunnen worden door deze profielen lichter te maken, zonder daarbij in te boeten op sterkte en stijfheid. De oplossingsrichting gaat uit naar het gebruik van goedkope, lichte en sterke glasvezelversterkte polypropyleentape.

Onderzoeksopzet

Als eerst is onderzocht of verandering van de geometrie kan leiden tot een lichter profiel. Daarna is bekeken of een profiel lichter gemaakt kan worden met behulp van voorgespannen vezel versterkte tape. Daarvoor is als eerst onderzocht op welke manier de beste verbinding gemaakt kon worden tussen het tape en het staal. Daarna zijn er simulaties uitgevoerd om het effect van voorspanning te voorspellen. Deze resultaten zijn geverifieerd met praktijktesten.

Resultaten

Vormverandering

Als er een lichter profiel gezocht wordt, bij gelijkblijvende belasting, waarbij de doorbuiging niet mag toenemen, zal het traagheidsmoment I gelijk moeten blijven. Door de vorm te veranderen, waarbij hoogte ($I = (1/12) \cdot B \cdot H^3$) de belangrijkste parameter is, is het mogelijk om lichter te construeren.

Een andere mogelijkheid is het toepassen van raatliggers. Dit type profielen zijn in het midden van het lijf voorzien van sparingen.

Partner:



Bedrijfstak:

Productie aanhangwagens

Partner:



Bedrijfstak:

Productie vezel versterkte tapes



FIGUUR 1 - LICHTGEWICHT FRAME MET SPARINGEN IN MIDDEN VAN HET LIJF.

Het is echter niet in alle gevallen gewenst om de geometrie te veranderen, omdat dit nadelige gevolgen kan hebben op andere ontwerpaspecten.

Verbinden van voorgespannen tape

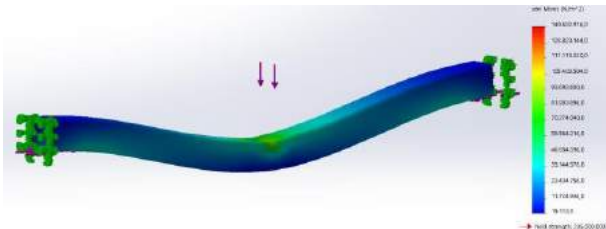
Uit testen bleek dat lijmen niet de geschikte methode is om PP-tape aan staal te verbinden. De verbinding was niet sterk genoeg. Tevens is dit ook een relatief dure en arbeidsintensieve manier.

Mechanisch verankeren, door gebruik te maken van klemmen, bleek een efficiënte manier om de PP-tape met het stalen profiel te verbinden. Voor de praktijkproeven is hier dan ook gebruik van gemaakt. De klemmen zijn gemaakt van aluminium en op de 4 hoekpunten worden beide delen van de klem verbonden met een bout.

Simulaties

In dit onderzoek is gekozen voor een klein kokerprofiel, 15x15mm, met wanddiktes van 1 en 2 mm. Met dit profiel zijn 3-punts buigproeven uitgevoerd.

De simulaties zijn uitgevoerd met SolidWorks. Er zijn verschillende simulaties uitgevoerd waarbij de doorbuiging van de 1 mm dikke koker met voorspanning gelijk moet zijn aan de doorbuiging van de 2 mm dikke koker zonder voorspanning. Door met de grootte van de voorspanning te variëren is de doorbuiging van de 1 mm koker gelijk te krijgen aan die van de 2 mm dikke koker.



FIGUUR 2 - SIMULATIE MET VOORSPANNING IN SOLIDWORKS

Praktijktest

Om de simulaties te verifiëren met de realiteit zijn 3-punts buigproeven uitgevoerd. Hierbij zijn 15x15mm kokers getest met een lengte van 260mm tussen de opleggingen. De wanddiktes van de kokers waren 1 en 2 mm, waarbij de 1 mm kokers zowel met als zonder vezel versterkte tape zijn getest.

Voor de praktijktest zijn de klemmen om de tape met het profiel te verbinden gefreesd uit een blok aluminium. Uit de bekende benodigde voorspanning is berekend dat er 3 lagen UD tape nodig waren. Deze 3 lagen zijn geconsolideerd tot één geheel.

Het UD-tape is opgespannen in de trekbank tot de gewenste voorspanning van 2400N bereikt was. Vervolgens is daar het stalen profiel tegen aan geklemd. De bouten van de klem zijn aangedraaid met 7Nm.



FIGUUR 3 – ALUMINIUMKLEM

In de onderstaande afbeelding is de testopstelling te zien.

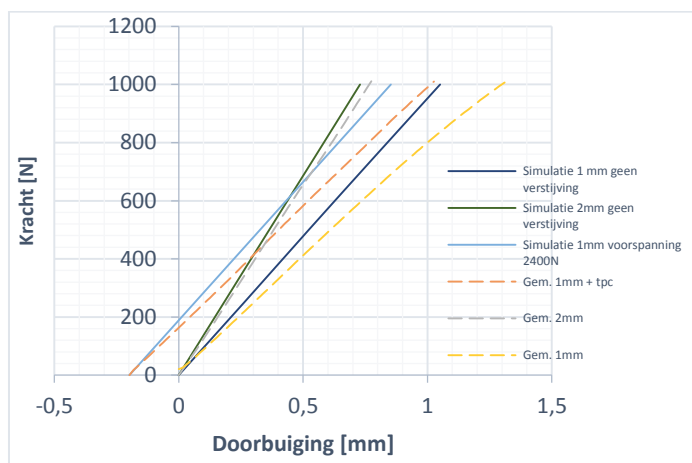


FIGUUR 4 - TESTOPSTELLING

Vlak na de klemmen is een streepje op het tape gezet om te controleren of het tape niet zou slippen in de klemmen. Bij geen van de proefstukken was dit het geval.

De buigproef is gestopt nadat de wanden van de koker onder het drukpunt uit knikten.

De 1mm dikke koker met voorspanning bleek niet dezelfde belasting te kunnen dragen als de 2mm dikke koker zonder voorspanning. Ook zat er een klein verschil tussen de simulaties en de praktijktesten.



FIGUUR 5 - VERGELIJKING SIMULATIES EN PRAKTIJKTESTEN

In de bovenstaande grafiek zijn de simulaties en de praktijktesten vergeleken. De simulaties zijn iets positiever dan de praktijktesten, de ononderbroken lijnen (simulaties) lopen iets steiler dan de gestreepte lijnen (praktijktesten). In het elastische gebied komen de simulaties redelijk overeen met de praktijk. Voor simulaties in het plastische gebied zijn geavanceerdere simulaties nodig.

Conclusie

Het is mogelijk om met voorgespannen vezel versterkte tape een profiel, door toevoegen van een klein beetje extra gewicht, meer belasting te laten dragen, zonder dat de doorbuiging groter wordt. De voorgespannen tape zorgt er voor dat het profiel een lichte bolling krijgt. Dit betekent dat het profiel een grotere belasting kan dragen voordat het eenzelfde doorbuiging krijgt als bij een niet versterkte koker (moet een langere weg afleggen).

Het profiel gaat zich gedragen als een getoogde ligger. Hierdoor kan het profiel een grotere belasting dragen voordat het plastisch gaat vervormen. Het is kostentechnisch pas interessant bij grotere profielen omdat daar door grotere materiaalbesparing een grotere kostenbesparing te behalen is.

4.3 Cato Composite Innovations



Partner:



Cato Composite Innovations

Bedrijfstak:

Ontwerp en productie van
thermoplastisch composiet producten

Werknemers:

10

Locatie:

Doesburg

BEVESTIGEN VAN ACCESSOIRES AAN EEN MILITAIRE HELM DOOR MIDDEL VAN LASSEN

Integratie van interieur en exterieur van een militaire helm

Cato Composite Innovations is producent van harde schaaldelen die de basis vormen van ballistische helmen, de Advanced Combat Helmet. Deze schaaldelen maken zij uit thermoplastisch composiet van PA6 met Kevlar® aramide vezel, waarbij een externe partij de harde schaal later samenvoegt met het interieur van de helm. Het interieur van de helm zorgt voor een goede pasvorm, terwijl aan de buitenkant aanhechtpunten worden bevestigd voor accessoires. Cato wil graag een totaaloplossing leveren, waarbij door middel van lassen de binnen- en buitenkant met elkaar geïntegreerd worden.

Onderzoek door: Thijs ter Maat

Probleemstelling

De helm wordt aan de buitenkant steeds meer een integratieplatform voor verschillende accessoires, waardoor de wens is ontstaan om een totaaloplossing te leveren in plaats van alleen een harde buitenschaal.

Bij de huidige assemblage van de helm wordt door middel van schroeven de harde buitenschaal met de verschillende onderdelen aan elkaar vastgemaakt, waarbij in het composiet wordt geboord. Door te boren wordt lokaal de vezelversterking onderbroken en boet de helm in aan kogelwerend vermogen. De onderzoeksvraag is of door middel van lassen dit probleem verholpen kan worden, waardoor eventueel ook aan gewicht gewonnen kan worden.



FIGUUR 1 – ONDERDELEN VAN EEN ADAPTERPUNT VOOR HET BEVESTIGEN VAN ACCESSOIRES AAN DE HELM

Twee van de eisen waaraan de nieuwe totaaloplossing moet voldoen, is dat de helm bij een explosie moet kunnen beschermen tegen een impact van 150g en dat er bij een impact van een projectiel met een snelheid van 650 m/s tenminste 20 mm afstand moet zitten tussen de binnenkant van de schaal en de schedel. Er zullen 4 ophangpunten komen. In totaal moet minimaal 68kg uniform over alle ophangpunten kunnen worden uitgeoefend, wat neerkomt op 2,6 MPa per punt.

Onderzoekskader

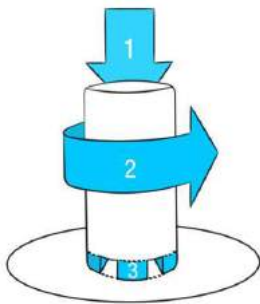
Binnen het totale onderzoekstraject is gekeken naar de diverse mogelijkheden om aan de binnenkant van de helm de ideale fit te kunnen creëren, maar in deze case zullen alleen de resultaten gepresenteerd worden van de integratie door middel van lassen.

Lasverbinding

De keuze om te lassen in plaats van te lijmen (met bijvoorbeeld een hotmelt) is omwille van de afschuifspanning. Binnen Cato is vastgesteld dat ultrasoon lasverbindingen twee keer de afschuifspanning halen ten opzichte van een lijmverbinding. In het algemeen wordt er grofweg onderscheid gemaakt tussen drie verschillende typen lasverbindingen: lassen door wrijvingswarmte, elektromagnetisch en thermisch [1].

De keuze voor het type las hangt natuurlijk af van de toepassing. Met ultrasoon lassen had Cato reeds ervaring en werd aangetoond dat een afschuifspanning van 20 MPa gehaald kan worden. Omdat het adapterpunt door middel van draadbussen vastgezet gaat worden, is er voor gekozen om de draadbussen op te lassen uit stafmateriaal. Aangezien de vorm uit rond stafmateriaal wordt gemaakt, is rotatielassen een goed alternatief, temeer omdat deze stap in het productieproces van de helm geïntegreerd kan worden direct na het zagen van de helm door de robot.

Het gebruikte stafmateriaal is PA6 Ø7, 10-20% kortvezel glasversterkt, met een gat Ø4 voor schroefdraad M4 voor het exterieur van de helm en PA Ø12 M8 voor het interieur.



FIGUUR 2 – PROEFOPSTELLING ROTATIELASSEN

Resultaten en discussie

De eerste rotatielas testen zijn uitgevoerd met behulp van een Dremel met regelbaar toerental. Door het variëren van de procesparameters druk nadat de rotatie gestopt is en beide materialen in de smelt zijn (1), rotatiesnelheid van de Dremel (2) en 'energy director' (3) is een maximale sterkte van 4,7 MPa gevonden. De opstelling van de afschuiftest staat in figuur 3, waarbij gewichten de belasting bepaalden.



$$\tau = \frac{T \cdot S}{b \cdot I}$$

FIGUUR 3 – TESTOPSTELLING EN BEREKENING VAN DE SCHUIFSPANNING T OP BASIS VAN T= DWARSKRACHT OP DOORSNEDE, S = STATISCH MOMENT MM³, I = OPPTRAAGHEIDSMOMENT EN B = BREEDTE OP HET PUNT

Alhoewel dus zowel ultrasoon lassen als het rotatielassen voldoet aan de eis dat er minimaal 2,6 MPa per punt gehaald moet worden, bleek het rotatielas proces lastig te controleren. Daarnaast was het een moeilijk te optimaliseren proces omdat er maar een beperkt aantal rotatiesnelheden was.

Conclusie

Door betere apparatuur kan het rotatielassen verder geoptimaliseerd worden maar het is dus zelfs met deze opstelling mogelijk gebleken om een volledig geïntegreerde TPC helm te ontwerpen, zonder vezelbreuk bij de ophangpunten waardoor de maximale ballistische weerstand behouden kan worden.

Referenties

¹Journal of Aerospace Technology and Management, 2012, 4 (3), A Review of Welding Technologies for Thermoplastic Composites in Aerospace Applications, Anahi Pereira da Costa ; Edson Cocchieri Botelho ; Michelle Leali Costa ; Nilson Eiji Narita ; José Ricardo Tarpani

4.4 FFWD



Partner:



Bedrijfstak:

Racefietsen

Werknemers:

16

Locatie:

Zwolle

TOEPASSING VAN TPC IN DE WIELERSPORT MET HOGE EISEN AAN LICHTGEWICHT EN PRODUCEERBAARHEID.

Ontwerp van een racefietswiel uit TPC

Bij racefietsen speelt gewicht en stijfheid een steeds grotere rol. Veel onderdelen, frame, wielen en voorvork worden tegenwoordig al van composiet gemaakt. De wielen van Fast Forward zijn hier een voorbeeld van en worden momenteel gemaakt van een thermohardend composiet. Alle Fast Forward wielen zijn handgemaakt en de wielmakers besteden veel aandacht aan elk wiel. Het maken van de wielen is momenteel arbeidsintensief. Thermoplastische composieten (TPC) hebben boven thermohardende composieten voordelen op het gebied van het productieproces (minder arbeidsintensief en eenvoudige processing), op de verbindingstechniek (producten zijn lasbaar) en duurzaamheid (minder milieubelasting, en recyclebaar), impact resistance, en vervormbaarheid.

Onderzoek door: Wouter Rorije, Emiel Jansen of Lorkeers en Peter-Bas Schelling.

Probleemstelling

TPC hebben ten opzichte van thermohardende composieten voordelen op het gebied van het productieproces. De hoofdvraag in dit onderzoek is: 'Wat is de invloed van het toepassen van TPC op de mechanische eigenschappen en wat betekent dit voor het productieproces van het wiel?'

Onderzoeksopzet

Bij composieten is er een sterke samenhang tussen het materiaal, ontwerp en productiemethode. Dit wordt vaak de materialendriehoek genoemd zie figuur 1.



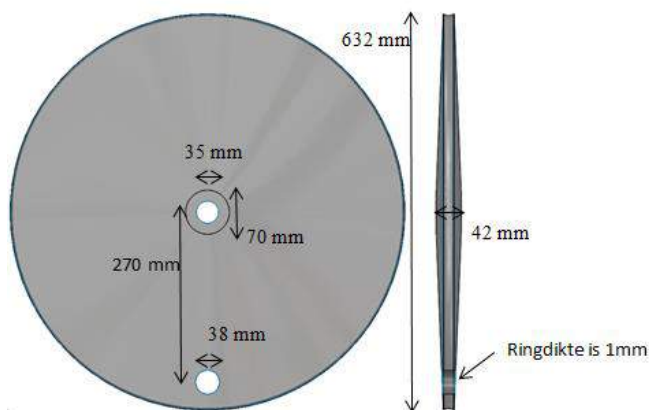
FIGUUR 1 - DE MATERIALEN DRIEHOEK

In dit onderzoek is voornamelijk gekeken naar een geschikte productiemethode voor het vervaardigen van het wiel uit TPC. Het ontwerp is gelijk gebleven aan het bestaande wiel. Het materiaal in combinatie met de productie moet, vergeleken met het originele ontwerp, gelijkwaardig of beter presteren, zie tabel 1.

Voor het prototype is gekozen voor een (1:1) model.

Gebruikerseis	Max. waarde
Kostprijs	€ 450,-
Rijdersgewicht	125 kg
Stijfheid: doorbuiging bij een belasting van 100 N haaks op zijkant van het wiel	2.0 mm
Gewicht wiel	1325 gram
Klimaat	UV bestendig
Productieaantal op jaarbasis	2400

TABEL 1 - GEBRUIKERSEISEN



FIGUUR 2 - HOOFDAFMETINGEN WIEL

De eerste stap in het onderzoek, is de analyse van het huidige wiel geweest. De krachten zijn in kaart gebracht en het huidige wiel is gesimuleerd in SolidWorks en in de praktijk gemeten.

Analyse huidige situatie

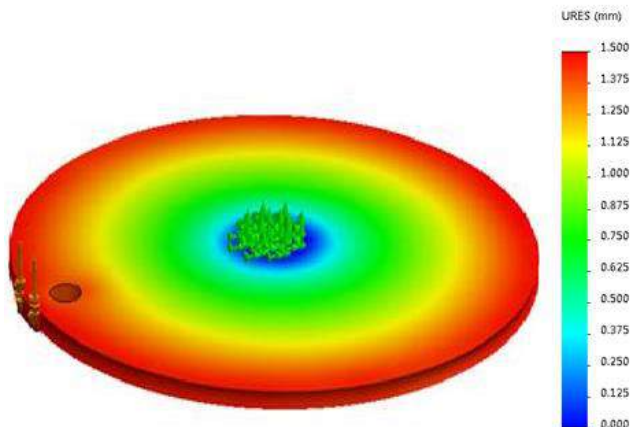
Er wordt enkel naar het achterwiel gekeken omdat deze het zwaarst belast wordt. Beide wielen (voorwiel en achterwiel) hebben een diameter van 632mm zonder band (DISC 650). Het wiel wordt, tijdens een rit, onderworpen aan een normaal kracht ten gevolge van de zwaartekracht en een koppel. Daarnaast wordt de belasting tijdens het rijden door een bocht ook bekeken. Hierdoor komt de normaalkracht onder een hoek te staan wat een dwarskracht van 100 N oplevert en buigend moment op het wiel als gevolg zal hebben.

De maximale hoek wordt verondersteld 30° te zijn, zie figuur 3.

Het wiel wordt enkel op deze belastingen gesimuleerd. Alle overige loadcases op het wiel worden buiten beschouwing gelaten omdat deze minder bepalend zijn voor het ontwerp.



FIGUUR 3 - HET WIEL ONDER EEN HOEK VAN 30°



FIGUUR 4 - SIMULATIE VAN DE VERPLAATSING VAN HET ORIGINELE WIEL

Volgens de simulatie is de doorbuiging bij een belasting van 100 N op het uiteinde van het wiel 1,5 mm, zie figuur 4. De stijfheid van het wiel is in de praktijk bepaald door aan het uiteinde een gewicht te hangen van 100 N. Daaruit is gebleken dat het huidige thermoset wiel 1,8 mm doorbuigt.

Materiaal selectie

Vezels

Voor dit product is gekozen voor koolstofvezel. De uitstraling van koolstof past goed bij het high-end imago dat FFWD wil bereiken, daarnaast heeft het een hogere specifieke sterkte en stijfheid dan glas. De kosten van glas liggen significant lager dan de andere opties, maar hier staan lagere specifieke eigenschappen tegenover.

Matrix

Voor deze case hebben we gekeken naar thermoplastische materialen met gunstige mechanische eigenschappen, goede dempingeigenschappen en een relatief lage verwerkingstemperatuur.

Een groot aantal thermoplastische polymeren is gescreend op de benodigde eisen en uiteindelijk is de keuze gevallen op thermoplastisch polyurethaan (TPU), vanwege de volgende eigenschappen:

- Zeer goede impacteigenschappen (dempingeigenschappen), zelfs bij lage temperaturen,
- Goed te lijmen en te lakken,
- Hoge resistentie tegen oliën en vetten,
- Goede oppervlaktekwaliteit,
- Proces temperatuur: 200-220°C,
- Maximale gebruikstemperatuur: 90°C,
- Smelttemperatuur: 190°C.

Gekozen materiaal

Met inachtneming van de bovenstaande afwegingen is gekozen voor Koolstof TEPEX® dynalite 208-C200(x)/45% Carbon - TPU Consolidated Composite Laminate van Bond Laminates.

Dit materiaal heeft een twill 2/2 3k weefsel. De treksterkte, modulus en breukrek zijn bepaald op respectievelijk 710 MPa, 42 GPa en 1.5%.

Voor de proefsamples is de goedkopere variant met glas gebruikt.

Productieproces prototype

In samenwerking met Cato Composites Innovation is het prototype geproduceerd. De aanwezige kennis en beschikbare apparatuur kwamen hierbij goed van pas.

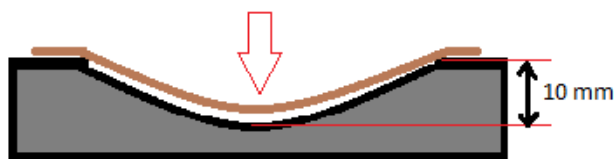
Schaaldelen

Het maken van TPC wielschalen is in twee stappen verlopen.

Eerste stap

Omdat de vorm van de symmetrische wielschalen dusdanig 'simpel' leek, is in eerste instantie geprobeerd de schaaldelen vacuüm te vormen met een enkelvoudige mal (negatief) en een membraan, zie figuur 5.

Er is gekozen voor aluminium als materiaal voor de mallen. Er is ook gekeken naar goedkopere alternatieven maar door de verwerkingstemperatuur van 200-220°C bleek dit niet mogelijk.



FIGUUR 5 - VACUÛM VORMEN M.B.V. MEMBRAAM

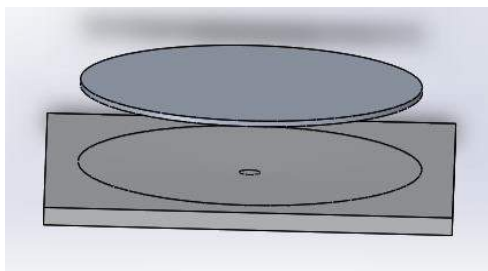
In de praktijk bleek dit echter niet goed te werken. Er traden plooien op in de schaaldelen, zie figuur 6, waarschijnlijk omdat de lucht niet goed kon ontsnappen. Daarnaast leek de vorm 'simpel' (over een lengte van 640 mm heeft de bolling slechts een verloop van 10 mm), maar zijn de afmetingen relatief groot voor dit proces en de beschikbare productiemiddelen.



FIGUUR 6 - HET PLOOIEN VAN DE PROEFSAMPLES MET DE GOEDKOPERE GLAS/TPU VARIANT

Tweede stap

Hierna is de mal aangepast om de lucht te helpen ontsnappen door extra ontluchtingsgaten aan te brengen maar ook dit leverde niet het gewenste resultaat op. Tenslotte is er alsnog een tegenmal (tweedelige) gemaakt, zie figuur 7 om het product te kunnen warmpersen. Dit leverde wel het gewenste resultaat op.



FIGUUR 7 - TWEEDELIGE MAL

Er is geperst op de een Zeulenroda pers, zie figuur 8. De procesparameters waren:

- Persdruk: 6 bar wat overeenkomt met een
- Perskracht: 200 kN,
- Temperatuur: 190 °C,
- Koeltijd: 2 minuten.



FIGUUR 8 - PERS ZEULENRODA BIJ CATO

Dit leverde een acceptabel resultaat voor het prototype, zie figuur 9, maar voor productie zullen deze parameters verder afgestemd moeten worden totdat er een visueel beter product is.



FIGUUR 9 - GEPERSTE TPC DELEN PROTOTYPE

Assemblage prototype

Het wiel is op te delen in drie hoofdonderdelen:

- De schaaldelen,
- De velgrand,
- De kern.

De kern is in model gefreesd door VABO composites uit geëxpandeerd polystyreen (piepschuim) en in de velgrand (origineel van FFWD) gelegd. Daarna zijn de schaaldelen hierop verlijmd met een 2-componenten, polyurethaanlijm (Simson Marocol 18576) en op de vacuümtafel met membraam uitgehard.



FIGUUR 10 - SAMENGESTELD TPC PROTOTYPE

Testresultaten prototype

Het gewicht is nagenoeg hetzelfde gebleven: 1350 gram. Dit kan lager omdat er voor het prototype te veel lijm is gebruikt, zie figuur 10.

De stijfheid van het prototype verschilt ook niet veel t.o.v. het origineel. De doorbuiging, bij een belasting van 100 N, bedroeg 1.9 mm.

Kosten

Tweedelige aluminium mal: € 2500,-

Materiaalprijs: ca. € 45,-/m² voor 1 laags (0,25 mm) en € 70,-/m² voor 2-laags (0,5 mm) materiaal.

Conclusie

Het produceren van een TPC tegentype voor het huidige thermoset wiel bleek technisch een haalbare kaart.

Doordat het ontwerp van het wiel niet aangepast is, zijn er eigenlijk ook geen voordelen behaald. Zo is bijvoorbeeld het gewicht van het wiel hetzelfde gebleven maar ook de doorbuiging is niet veranderd. Voor het produceren van de schaaldelen is een tweezijdige mal nodig. Er is geprobeerd om het prototype op een eenvoudigere (goedkopere) manier te produceren door het met een enkelzijdige mal te doen maar dit is niet succesvol gebleken. Om controle te houden over het plooiën van het materiaal maar ook de hoge verwerkingstemperatuur van een dergelijk groot deel waren de argumenten om de tweezijdige mal uit aluminium te maken. Deze mallen voor het proefmodel kosten € 2500,-.

Tenslotte kan geconcludeerd worden dat voor dergelijke kleine series waar toch relatief dure apparatuur voor nodig is, het rendabeler is om de productie uit te besteden aan de werkplaatsen die deze apparatuur al hebben staan.

4.5 ICO/VABO



Partner:



ICO

Bedrijfstak:

Composiet ontwikkeling

Locatie:

Emmeloord

EFFICIËNTER LEIDINGEN INSTALLEREN DOOR SLIM GEBRUIK TE MAKEN VAN TPC

Vervormbaarheid van gewikkelde TPC buizen

Kunststof leidingsystemen worden veel toegepast voor transport van relatief ongevaarlijke vloeistoffen en bij relatief lage drukken. Echter, TPC heeft een aantal eigenschappen die het heel geschikt zou kunnen maken voor een breder scala aan vloeistoffen en gassen en ook bij hogere drukken. Binnen dit onderzoek is specifiek gekeken naar de mogelijkheid om TPC buizen in de juiste vorm te buigen en zodoende een efficiëntie winst t.o.v. huidige methodes te kunnen pakken.

Onderzoek door: Laurens Achtereekte, Pieter Schreuder, Artur Perek, Ian van der Kruis, Krystian Nowakowski.

Probleemstelling

Staal is het meest gebruikte constructiemateriaal voor buizen. In veel gevallen werkt dit ook naar tevredenheid, maar staal is erg gevoelig voor corrosie, zwaar en het lassen van verbindingen kost erg veel tijd om dit ter plekke te doen. In gevallen waar corrosieve gassen of vloeistoffen getransporteerd worden, moet vaak worden uitgeweken naar roestvrij stalen of zelfs duplex buizen, waarmee de materiaalkosten maar ook de installatie kosten significant toenemen.

Er zijn vele thermoplasten bekend die uitzonderlijk goede resistentie tegen chemicaliën hebben. De simpelste hiervan zijn PE en PP die ook in veel gevallen toegepast worden. Wanneer deze thermoplasten voorzien worden van vezelversterking zijn ze in theorie ook geschikt voor hogere drukken en vormen ze een reëel alternatief voor de huidige stalen buizen.

Een uitdaging zit echter in het koppelen van twee stukken vezel versterkte pijp. In een ideaal geval lopen de vezels continu door, zodat overal evenveel wandspanning opgenomen kan worden. Dit is echter moeilijk te bereiken bij een connectie. Daarnaast is van stalen pijpen bekend dat het maken van connecties (lasverbindingen) erg duur is en dus zijn er meerdere redenen om zo min mogelijk connecties te willen in een leiding.

Aangezien er vele verschillende leidingsystemen bestaan en deze op minstens net zoveel drukken opereren is er voor gekozen om een specifieke case te definiëren en hier een oplossing voor te zoeken. In dit geval is gekozen voor een 2" stikstof transport buis met een werkdruk van 12 bar en een maximale temperatuur van 55°C.

Beschrijving van het idee

Aangezien PE en PP te vervormen zijn bij relatief lage temperaturen en gezien het feit dat verbindingen moeilijker te maken zijn, is het idee om zo min mogelijk verbindingen te gebruiken en in plaats hiervan op locaties waar nodig de buis te buigen, om zo de juiste routing te verkrijgen.

Dit betekent dat in plaats van 6 m of 12 m lange stukken buis, een langere (eventueel opgewikkelde buis) op site geleverd wordt – of eventueel op site geproduceerd wordt. Vervolgens wordt deze buis door middel van een specifieke tool op bepaalde plekken gebogen.

Technische uitdaging

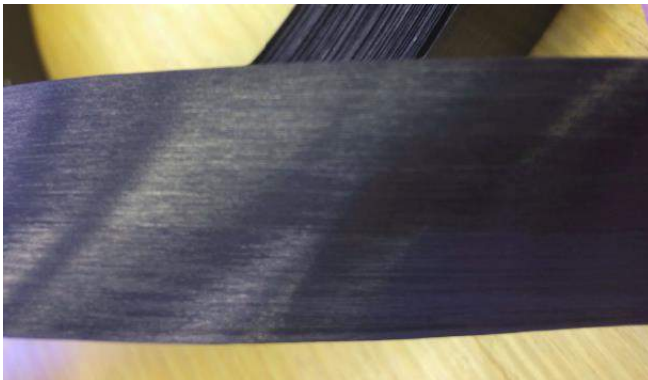
Er zijn twee grote technische vraagstukken die in eerste instantie beantwoord moeten worden om te bepalen of dit idee technisch haalbaar is:

- Aangezien de vezels in de omlooprichting van de buis gewikkeld zijn, zal het aanbrengen van een buiging in de buis ervoor zorgen dat de vezels lokaal anders georiënteerd komen te liggen. Het is van belang te bepalen welk effect dit heeft op de sterkte van de buis.
Van onversterkte buizen is het bekend dat deze eenvoudig te buigen zijn. Is dit echter ook het geval als er een vezelversterking in de wand aanwezig is, of vormen de vezels een netwerk dat het buigen onmogelijk maakt?

Het onderzoek is in twee delen uitgevoerd, waarbij eerst met relatief eenvoudige methodes gekeken is of dit principe mogelijk is, in de tweede stap is gekeken is naar meer detail betreft de effecten van het buigen.

Materiaal selectie

Aangezien het voornaamste doel van dit project is om aan tonen dat het principe werkt, is de materiaalkeuze nog niet van het grootste belang; als het principe werkt bij TPC A, dan is het waarschijnlijk dat het ook bij TPC B werkend te krijgen is. Hierdoor is in de keuze van materiaal ook sterk rekening gehouden met de verkrijgbaarheid van het materiaal.



FIGUUR 1 - GLAS-HDPE TAPE

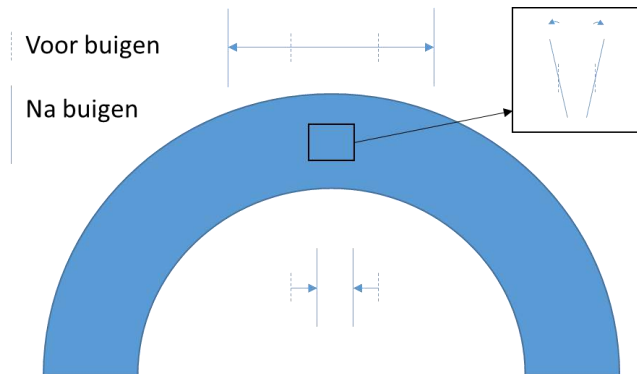
De initiële testen zijn uitgevoerd op glasvezel in een HDPE matrix (G-PE) en koolstofvezel in een PP matrix (C-PP). Hierbij werd gevonden dat G-PE een smelttemperatuur heeft van +/- 120°C en C-PP een smelt temperatuur van +/- 170°C. Een groot verschil werd echter waargenomen in het gedrag zodra de matrix begon te smelten. In het geval van G-PE smelt de hars direct weg van de vezels, waardoor meteen hars bolletjes en droge vezels ontstaan. In het geval van C-PP lijkt de goede warmte doorgifte van de carbonvezels ervoor te zorgen dat het smelten geleidelijker verloopt en de tape hierdoor langer zijn integriteit houdt.

In de tweede helft van het onderzoek is in meer detail gekeken welk materiaal het meest geschikt zou zijn voor de gekozen toepassing. Hierbij blijkt dat wanneer een (gebruikelijke) 20°C veiligheidsmarge op de maximum temperatuur wordt toegepast, HDPE niet voldoet. Hierdoor is gekozen voor een PP matrix. Aangezien het gewichtsverschil tussen koolstof en glas in dit geval niet doorslaggevend is, is vanwege de kostprijs gekozen voor de veel goedkopere glasvezel. In combinatie geeft dit dus glasvezelversterkte polypropyleen, G-PP.

Analyse buigen

Tijdens het buigen zullen twee effecten gaan spelen (zie figuur 2):

1. Compressie en rek van materiaal aan de binnenzijde en buitenzijde van de bocht.
2. Afschuiving aan de zijkanten van de bocht



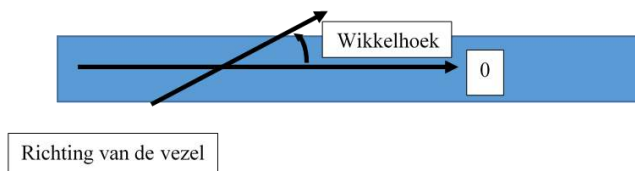
FIGUUR 2 – VEZELVERSTORING TIJDENS BUIGEN

Aangezien de meeste thermoplasten, inclusief PP, een relatief lage stijfheid hebben kan een hoge rek toegepast worden voordat de zwichtspanning overschreden wordt. Mocht dit lokaal gebeuren, dan nog kan het materiaal een hele grote mate van rek ($\geq 50\%$ voor PP) aan voordat breuk optreedt. Dit betekent dat een bocht in een onversterkte thermoplast mechanisch geen probleem hoeft te zijn.

Op het moment dat vezels geïntroduceerd worden is dit echter een ander verhaal. De gekozen glasvezels hebben een volledig elastisch gedrag tot ongeveer 3% rek, waarna een brosse breuk optreedt. Daarnaast is de stijfheid van glasvezel (72GPa) bijna twintig keer zo hoog als de PP matrix (3.9 GPa), wat ervoor zorgt dat het gedrag van G-PP sterk afhankelijk is van de oriëntatie van de glasvezels.

Aangezien de matrix tijdens het buigen zodanig verhit gaat worden dat deze smelt, kan deze in principe geen spanning opnemen tijdens het buigen. Dit betekent dat de vezels zich tijdens het buigen relatief vrij kunnen oriënteren. Om nu te kijken wat het effect hiervan is, is het belangrijk te kijken welke wikkelhoek in eerste instantie gebruikt wordt.

Wikkelhoek

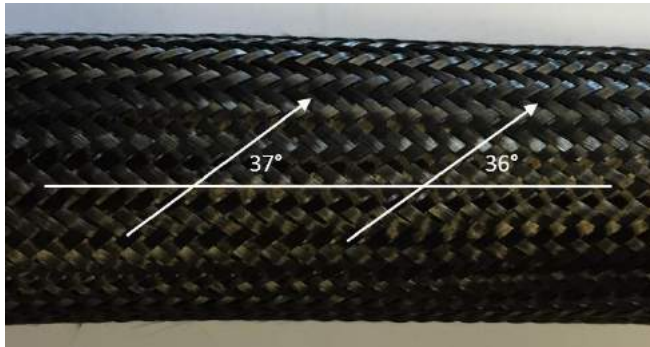


FIGUUR 3 - DEFINITIE WIKKELHOEK

Aangezien bij een bepaalde druk in een buis goed te berekenen is wat de grootte en richting van de wandspanning zal zijn, is het ook mogelijk een optimale vezelhoek te bepalen voor een buis. Deze is $\pm 55^\circ$ [1], waarbij 0° gedefinieerd is in de langsrichting van de buis (figuur 3).

Zoals hiervoor beschreven, zullen tijdens het buigen de vezels zich gaan heroriënteren, wat er toe zal leiden dat de lokale vezelhoek over de omtrek verandert. Om een indicatie van dit effect te krijgen is een koolstof braid zonder matrix om een flexibele pijp geschoven en deze vervolgens gebogen. Hierbij valt ook meteen op dat de inklem

lengte erg van belang is voor de verschuiving van de vezels – een langere inklem lengte zorgt ervoor dat er meer materiaal kan verschuiven en verdraaien, waardoor het effect minder abrupt plaats vindt. Bij een korte inklemming ontstaat er direct een buik aan de binnenzijde van de bocht. In het ontwerp van een proces moet hier rekening mee gehouden worden.



FIGUUR 4 - BEPALEN VEZELHOEK

	Rechte Buis	Gebogen buis
Binnenbocht	36.5°	60°
Zijkant		34°
Buitenbocht		30°

TABEL 1 - LOKALE VEZELHOEK NA BUIGEN BUIS

In tabel 1 staan de waarden uit deze initiële test. Hier valt direct op dat de hoekverdraaiing van de vezels zeer significant is. Om vervolgens te bepalen of het materiaal voldoet aan de benodigde sterkte, is een analyse nodig die bepaalt welke spanningen lokaal optreden afhankelijk van de geometrie van de bocht en de lokale vezelhoek. Een volledige analyse viel buiten de scope van dit initiële werk, maar om hier in dit stadium toch een uitspraak over te kunnen doen is een model gebruikt [2] dat gebaseerd is op de klassieke laminaat theorie. Hierbij is de vezelhoek gevarieerd om te bepalen wat het effect is op de vezelspanning als er wordt uitgegaan van een 4-laags laminaat. Uit de voorgaande studie zijn twee laminaat opbouwen gekozen voor het bepalen van de buigbaarheid:

1. $[+/-75]_2$, vanwege de grote initiële vezelhoek zou dit laminaat minder verstoring moeten kennen tijdens het buigen.
2. $[+/- 55]_2$, dit is de optimale vezelwikkelhoek uit [1] en dit bleek ook uit de simulaties a.h.v. [2].

Praktische uitwerking

Uit het initiële werk is gebleken dat de kwaliteit van de geproduceerde TPC buizen sterk afhankelijk is van de temperatuur en consolidatie van het materiaal. Daarom is ervoor gekozen om in het vervolgstuk gebruik te maken van gewikkelde buizen die extern geproduceerd zijn. Gezien het wikkelp proces was het echter nodig om een niet versterkte PP binnenbuis (liner) toe te passen.

Vervolgens is gekeken naar een methode om de buis gecontroleerd te buigen. Hierbij bleken de volgende zaken van belang:

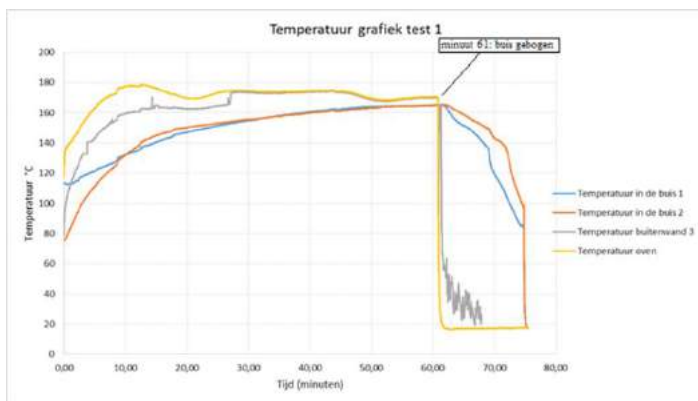
1. De temperatuur moest goed gecontroleerd worden, aangezien een te lage temperatuur betekent dat de buis niet wil buigen en een te hoge temperatuur resulteerde in verlies van integriteit.
2. Stabilisatie van de buisvorm. Zonder deze stabilisatie klapte de buis in wanneer geprobeerd wordt deze te buigen.



FIGUUR 5 - BUIGMAL

Om deze zaken op te lossen is de mal gefabriceerd zoals deze te zien is in figuur 5. De buis wordt gevuld met zand dat vooraf op temperatuur gebracht is. Vervolgens zorgen twee kurken aan beide uiteinden ervoor dat dit zand de benodigde stabilisatie kan bieden.

Hierna wordt de gehele mal in een oven geplaatst, waarbij de oven op 175°C ingesteld werd.



FIGUUR 6 - TEMPERATUUR VERLOOP

Uiteraard moet in dit geval ook de binnenbuis flexibel genoeg worden om buiging van het geheel toe te staan. Het is gebleken dat de benodigde temperatuur hiervoor 165°C is. Na 61 minuten gaven de thermokoppels aan dat deze temperatuur bereikt was (figuur 6) en bleek dat de buis inderdaad gebogen was (figuur 7).



FIGUUR 7 - GEBOGEN BUIS

Uit de buigtesten blijkt dat de $[+/-75]_2$ opbouw inderdaad minder weerstand tegen buigen biedt dan de $[+/-55]_2$ opbouw. Echter de laatste behoudt veel beter zijn ronde vorm tijdens het buigproces.

Validatiesterkte

Van de volgende buizen is een lange duurtest ingezet bij Wavin:

- rechte buis $[+/-75]_2$ en $[+/-55]_2$,
- gebogen buis $[+/-55]_2$.

Om de buizen in de koppelingen te krijgen moest de gewikkelde tape van het deel dat in de koppeling zat, weg worden geschuurd. De buis had een diameter van 52 mm en de koppelingen zijn voor 50 mm buizen. Na 642 uur op 15 bar was er niets te zien aan de buizen, waarna de druk werd opgevoerd. Bij de rechte buis $[+/-75]_2$ spoot er bij 24 bar water door de tape heen. Op deze plek bleken twee delen liner aan elkaar gelast te zitten.



FIGUUR 8 - DRUKTEST

Bij de gebogen buis $[+/-55]_2$ knapte de liner in de koppeling bij 46 bar.



FIGUUR 9 - GEKNAPTE LINER IN DE KOPPELING

Bij de rechte buis $[+/-55]_2$ scheurde de liner net boven de koppeling, bij 47 bar. Bij deze meting is vooral de barstdruk van de liner gemeten. De tape zelf is niet waterdicht, want bij een las in de liner spuit het water door de tape heen. Voor vervolgprouwen is het aan te bevelen om vooraf een buitendiameter te zoeken waarvoor drukkoppelingen bestaan, waarmee de buizen vervolgens getest kunnen worden.

Conclusie

Het buigen van TPC buizen lijkt mogelijk en bezit ook potentie. Het is echter wel een complexe techniek waar procesparameters zeer goed gecontroleerd moeten worden. Verder onderzoek naar het buigproces is nodig.

Aanbeveling

Als vervolg op dit onderzoek zijn de volgende zaken nodig:

1. Het verder ontwikkelen van een model dat de vezelhoekverdraaiing als gevolg van een buiging bepaalt en dit vervolgens relateert aan de optredende spanningen in het materiaal. Op deze manier is te bepalen welke dikte nodig is.
2. Het ontwikkelen van een proces dat on-site gebruikt kan worden om een buis te buigen, waarmee de juiste temperatuur, consolidatie druk en vormvastheid gehanteerd kunnen worden.

Referenties

1. Nijhof A.H.J., Vezelversterkte kunststoffen, Mechanica en ontwerp, VSSD, 2004.
2. M. Xia, H Takayanagi en K. Kemmochi, Analysis of multi-layered filament-wound composite pipes under internal pressure, composite structures, Vol 53, 2001

4.6 Modified Materials



TPC-UD TAPE

Partner:

Modified Materials B.V.
Innovation in polymers

Bedrijfstak:

Ingenieursbureau polymeer kennis

Werknemers:

1

Locatie:

Halsteren

Mechanische eigenschappen TPC tape van Modified Materials

Modified Materials is een ingenieursbureau gespecialiseerd in polymeerkennis, verwerking van kunststoffen en productontwikkeling in kunststof. Met andere partijen werkt Modified Materials aan de ontwikkeling van een halffabricaat (ud-tape) thermoplastische composiet, zie figuur 1. Dit materiaal kan met de bijbehorende verwerkingstechnieken dienen als materiaal voor mechanisch hoog belastbare producten als drukvaten, sandwiches, persdelen etcetera. Tijdens dit onderzoek zijn de volgende materiaaltesten gedaan om een beter inzicht te krijgen in de mechanische eigenschappen van de tape: trektesten, interlaminaire afschuiftesten en de 3-punts buigproef volgens de ISO-NEN norm 658. Daarnaast zijn ook ringsamples getest op doorbuiging en overlapsamples op afschuiving.

Onderzoek door: Niek Oudeman en Marco de Vries

Probleemstelling

Bij TPC is het mogelijk om verschillende lagen tape op elkaar te lassen en zo een dikker product te creëren. De hoofdvraag in dit onderzoek is: 'Wat is de invloed van het lassen op de mechanische eigenschappen die bereikt kunnen worden met de tape van MM? Hoe goed vindt de consolidatie plaats?'

Huidige situatie

De tapes die momenteel op de markt verkrijgbaar zijn, worden veelal toegepast voor High-End toepassingen in de aerospace en automotive. Deze tapes hebben een verkoopprijs die gangbaar is voor deze toepassingen en daarmee liggen ze veelal buiten het bereik van toepassingen in het MKB. De bijbehorende, gerobotiseerde productieprocessen zoals tape laying vergen ook hoge investeringen. Modified Materials wil een tape op de markt brengen die voor het MKB wel interessant kan zijn en wil zich opstellen als een flexibele leverancier voor speciale producten. Het bedrijf wil in projecten ook als ontwikkelpartner optreden en ontwikkelt verwerkingsprocessen voor tape. Deze tape is nog niet gekwalificeerd en hier stamt de vraag naar dit onderzoek uit voort.

Materiaal

TPC is verkrijgbaar met verschillende vezels en met verschillende matrix materialen, die elk hun voordelen en nadelen hebben. Voor dit project is het volgende materiaal beschouwd:

- 65%vol E glass,
- 35%vol PP,
- E-modulus E-glass: 78 GPa,
- Treksterkte E-glass: 2 GPa,
- E-modulus PP: 1 - 1,5 (een gemiddelde waarde wordt gebruikt omdat de exacte waarde niet bekend is),
- Treksterkte PP: 20 - 40 MPa (een gemiddelde waarde wordt gebruikt omdat de exacte waarde niet bekend is),
- Smelt temperatuur PP: 160°C.

Onderzoeksopzet

De tape is aangeleverd door Modified Materials. Van de tape zijn verschillende samples gemaakt voor gestandaardiseerde testen volgens de ISO-NEN norm 658. De onderstaande tabel 1 geeft een overzicht van de geteste samples.

Test	Sample (n=5)	Dikte (mm)
Treksterkte	1 laag	0,25
	2 lagen	0,5
	3 lagen	0,75
	4 lagen	1
3 punts buigproef	10 lagen	2,5
ILSS	12 lagen	3

TABEL 1 - OVERZICHT GESTANDAARDISEERDE TESTEN ISO-NEN NORM 658

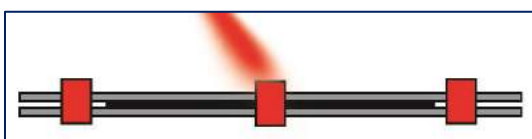
Daarnaast zijn er een aantal samples getest buiten de gestandaardiseerde normen op verzoek van Modified Materials.

Maken samples

Deze samples zijn zelf gemaakt met behulp van eenvoudige apparatuur. Tussen twee metalen strips wordt de tape gestapeld en doormiddel van een heatgun worden de strips warmgemaakt, zie figuur 1 en 2.



FIGUUR 1 - HEATGUN EN METALEN STRIPS



FIGUUR 2 - MAKEN VAN DE SAMPLES

De drie- en vier-laags samples zijn 7 en 8 minuten verwarmd omdat de lagen anders niet goed consolideerden, zie tabel 2.

Lagen	Temp. °C	Verwarmtijd min.	Koeltijd min.
2	500	5	2
3	500	7	2
4	500	8	2

TABEL 2 - TESTSAMPLES

Trektest

Een trektest is één van de eenvoudigere beproevingen op een materiaal. Er zijn niet veel verschillende standaarden voor, waardoor een vergelijking van treksterktes voor de meeste laminaten betrouwbaar is. Uit de treksterkte is voor dit onderzoek de treksterkte en de stijfheid bepaald van de tape.

Testopstelling

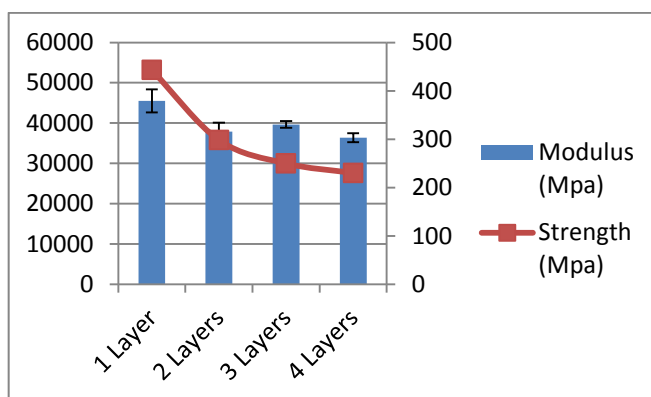
De testen zijn uitgevoerd bij Parthian Technology in Hengelo op een trekbank met hydraulische inklemming, nadat een observatie was gedaan dat standaardklemmen problemen hadden om voldoende grip op de samples te krijgen.

Machine data:

- 1475 WN:115401,
- Crosshead travel monitor WN:115401,
- Specimen grips,
- Force sensor ID:0 WN:115402 100 kN,
- Macro ID:2 WN:115403.

Testresultaten trektesten

De trektesten zijn uitgevoerd bij 1, 2, 3 en 4-laags samples, volgens de ISO-NEN norm 658-1. Alle lagen zijn 5 maal (n=5) getest. Zie grafiek 1 waar de gemiddelde waarden van de treksterkte en de stijfheid worden weergegeven met de standaarddeviatie.



GRAFIEK 1 - GEMIDDELDE TREKSTERKTE EN E-MODULES

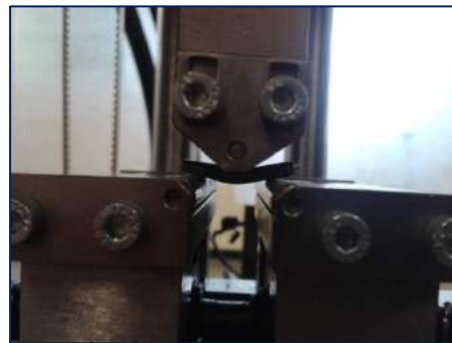
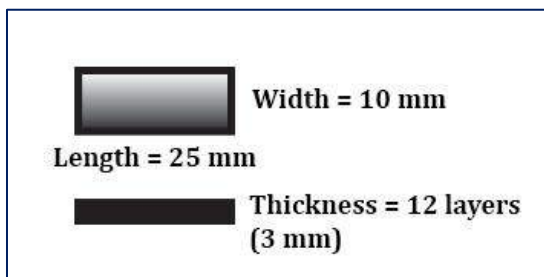
De treksterkte van 1 laag is hoger dan de treksterkte van meerdere lagen. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de productiemethode. Een lage mate van verbinding tussen de lagen zal eerder invloed hebben op de uiteindelijke treksterkte, dan op de modulus. De stijfheid van de verschillende lagen komt overeen met verwachtingen en ligt rond de 40 GPa.

Interlaminaire sterkte (ILSS)

Bij deze proef wordt een zeer kort proefstuk door middel van een 3-puntsbuiging belast. Deze belasting heeft tot gevolg dat tussen de individuele lamellen een hoge afschuifspanning komt te staan. De hoogte van de ILSS waarde is dan ook een maat voor de integriteit van de interface tussen de individuele lagen en de mate van hechting tussen de vezels en de matrix.

Testopstelling

De samples zijn volgens de ISO-NEN norm 658-5 gemaakt, wat betekent dat in dit geval 12 lagen op elkaar gelast moesten worden, zie figuur 3a. Het lassen is laag voor laag gedaan op dezelfde manier zoals bij de trektesten beschreven. De testen zijn uitgevoerd bij Parthian in Hengelo op de Zwick 1475 drukbank, zie figuur 3b.

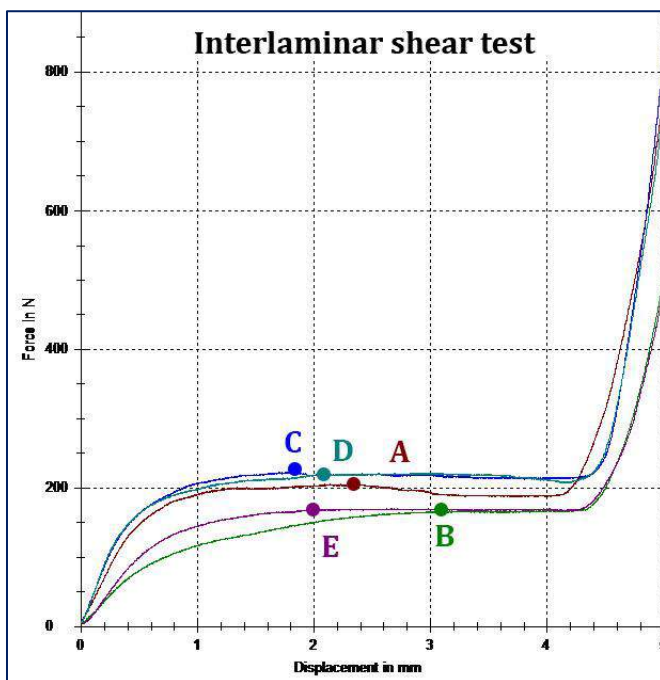


FIGUUR 3A - ILSS SAMPLE UIT 12 LAGEN

FIGUUR 3B - ZWICK 1475 DRUKBANK

Resultaten

In figuur 4 is voor de verschillende samples aangegeven bij welke kracht interlaminaire breuk optreedt (het feit dat de kracht nog toeneemt heeft te maken met de testgeometrie).



FIGUUR 4 - RESULTATEN VAN DE ILSS TEST

Met de gecorrigeerde maximumkracht en de afmetingen van de monsters, kan de interlaminaire afschuifsterkte worden berekend met de volgende formule (NEN-ISO 658-5):

$$ILSS_b = \frac{3F}{4bh}$$

$$ILSS_b = \text{Interlaminaire afschuifsterkte (MPa or } \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\text{)}$$

F = Maximale kracht (N)

b = breedte sample (mm)

h = dikte sample (mm)

Als voorbeeld is de ILSS berekend voor sample A.

$$ILSS_b = \frac{3F}{4bh}$$

$$ILSS_b = \frac{3 \times 205}{4 \times 10,3 \times 3,2} = 4,66 \text{ MPa } (\frac{\text{N}}{\text{mm}^2})$$

Sample	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Fmax gecorrigeerd (N)	ILSS berekend (MPa)
A	3,2	10,3	205	4,66
B	3,3	10,4	165	3,61
C	3,2	10,8	220	4,77
D	3,3	10,9	215	4,38
E	3,3	10,7	165	3,50

TABEL 3 - DE RESULTATEN VAN ILSS TEST, MET DE MAXIMUM GECORRIGEERDE KRACHT EN DE BEREKENDE ILSS

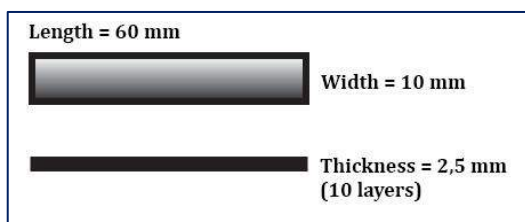
Hieruit blijkt dat de ILSS voor alle samples tussen de 3.5 en 4.8 MPa ligt, zie tabel 3. Ter vergelijking, uit het proefschrift van (Joncas, 2010) blijkt dat een TPC met slecht hechtende vezel rond de 10MPa kan scoren en een goede TPC rond de 60MPa. Dit geeft aan dat de gebruikte productiemethode geen bruikbare producten oplevert.

3-punts buigproef

Een buigproef wordt uitgevoerd om de buigsterkte te onderzoeken.

Testopstelling

Voor deze proeven zijn samples gemaakt bestaande uit 10 lagen, zie figuur 5 zoals in de (NEN-ISO 658-3) beschreven staat. De lagen zijn op elkaar gelast zoals eerder beschreven bij de ILSS test. Ook zijn de testen op dezelfde trekbank, de Zwick 1475 uitgevoerd.



FIGUUR 5 – SAMPLES UIT 10 LAGEN

Resultaten

Er zijn 5 samples getest, zie onderstaande tabel 4.

Sample	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Fmax gecorrigeerd (N)	Buigsterkte berekend (MPa)
A	2,8	10,6	89,3	80,6
B	2,9	10,6	72,6	61,1
C	2,8	10,5	75,1	67,7
D	2,7	10,9	102,3	96,6
E	2,9	10,0	69,6	61,6

TABEL 4

De buigsterkte ligt tussen 61,1 en 96,6 MPa. De gemiddelde waarde is 73.5 MPa. De buigsterkte is berekend met de volgende formule (NEN-ISO 658-3):

$$\sigma_{f,m} = \frac{3F_m L}{2bh^2}$$

$\sigma_{f,m}$ = Buigsterkte (MPa) or N/mm²
 F_m = F max (N)
 L = Buitenste overspanning (mm)
 b = Sample breedte (mm)
 h = Sample dikte (mm)

Als voorbeeld wordt de buigsterkte van sample A berekend:

$$\sigma_{f,m} = \frac{3 \times 89,28 \times 50}{2 \times 10,6 \times 2,8^2}$$

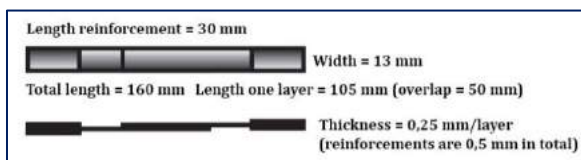
Wederom is er met de eenvoudige productietechnieken van de samples een brede spreiding waar te nemen.

Lap shear test

Het doel van de lap shear test is het vergelijken van de sterkte van de lassen van de verschillende samples welke gemaakt zijn door Modified Materials en Windesheim. Er zijn van beiden 5 samples getest, gemaakt uit één laag tape met een overlapping.

Maken samples

De samples van Windesheim zijn gemaakt zoals eerder beschreven tussen twee metalen strips en een heatgun waarbij de temperatuur op 300°C was ingesteld. De samples van Modified Materials zijn gemaakt door ze te wikkelen om een liner (pijp) en te lassen met een heatgun op een temperatuur van 500°C. De tape werd handmatig aangedrukt met een metalen roller. De afmetingen van de samples waren volgens ISO-NEN norm 658-1, zie figuur 6.



FIGUUR 6 - AFMETINGEN SAMPLES LAP SHEAR TEST

Overlap test with reinforcements					
Sample #	Overlap length	Width	Fmax.	Shear stress	Remarks
	mm	mm	N	N/mm ²	
A	50	13,5	1181,14	1,75	Samples by Windesheim
B	50	13,5	83,06	0,12	
C	50	13,25	423,77	0,64	
D	50	13,6	310,72	0,46	
E	50	13,25	1082,7	1,63	
1	63,5	24,29	2716,54	1,76	Samples by Modified Materials
2	60,91	24,11	2884,79	1,96	
3	67,67	24,36	1772,83	1,08	
4	63	24,85	3452,02	2,2	
5	58,74	25,08	3072,07	2,09	
6	69,57	24,57	3226,85	1,89	

FIGUUR 7 - RESULTATEN OVERLAP SHEARTEST

De resultaten zijn van de samples van Modified Materials zijn beter dan van de samples van Windesheim. Maar nog steeds zijn dit lage waarden. Het belang van het goed produceren (lassen) wordt hier wederom zichtbaar.

Eindconclusie

De trektesten tonen de mogelijkheden van het materiaal aan, welke met een modulus van 40 GPa en een treksterkte van 300-400 MPa zeer interessant zijn, zeker gezien het lage gewicht en de lage kosten van de gebruikte materialen. Tijdens de trektesten is echter al wel een uitdaging zichtbaar die tijdens de ILSS en lap shear testen verder naar boven komt; het produceren van meerlaags laminaten is niet simpel met eenvoudige apparatuur en goede controle over de aangebrachte temperatuur en druk is erg belangrijk voor een goed resultaat. De ILSS is zodanig laag dat problemen met delaminaties te verwachten zijn als een laminaat op de bovenstaande manier geproduceerd zou worden.

Referenties

Proefschrift: Joncas, S, (2010), Thermoplastic composite wind turbine blades, Technische Universiteit Delft, Nederland

4.7 Novek



Partner:



NOVEK Technical Solutions

Bedrijfstak:

Defensie materieel en onderhoud

Werknemers:

70

Locatie:

Zwolle

TOEPASSING VAN TPC IN MILITAIRE OMGEVING MET HOGE STANDAARDEN OP HET GEBIED VAN EMC EN SCHOKBELASTING.

Ontwerp van een AC systeem uit TPC

Militaire voertuigen worden gekenmerkt door zeer hoge betrouwbaarheidseisen, op het slagveld is dit immers van cruciaal belang voor de inzittenden. Echter, één van de uitdagingen voor de huidige generatie voertuigen is het gewicht, wat door de stalen constructie en bepantsering zeer hoog is. Een deel van het staal vervangen door veel lichter composiet kan hier mogelijk een uitkomst bieden, maar dan moeten deze materialen wel aan dezelfde hoge eisen kunnen voldoen. Dit onderzoek heeft aangetoond dat TPC in principe gebruikt kan worden voor applicaties binnen de defensie industrie, omdat het mogelijk is aan de specificaties te voldoen.

Onderzoek door: Jon Lieben

Probleemstelling

Om te onderzoeken of TPC aan de gestelde eisen voldoet is de airconditioning (AC) unit (figuur 1) van de Boxer MRV als demonstratieproduct gekozen. Deze unit wordt op dit moment uit aluminium geproduceerd, maar is een representatief onderdeel wat betreft de strikte gebruikerseisen die op dit onderdeel van toepassing zijn.



FIGUUR 1 - AC UNIT

Binnen dit onderzoek zijn Electro Magnetische Compatibiliteit (EMC) en schokbelasting gekozen als de twee zwaarste testen die in eerste instantie bepalend zijn of een materiaal al dan niet geschikt is.

Huidige situatie

De aluminium AC unit weegt op dit moment 35kg inclusief componenten (11kg behuizing) en is zeer kostbaar vanwege het arbeidsintensieve productieproces. Uitdagingen binnen het huidige ontwerp zijn:

- Zorgen voor continue elektrische geleiding op verbindingen, zodat een EMC 'dichte' constructie ontstaat.
- Ontwerpen voor schokbelasting waarvan de richting bij voorbaat niet vast staat.
- Isolatiemateriaal.
- Coating van het plaatmateriaal ter bescherming en voor het verkrijgen van de juiste kleur.

Onderzoeksopzet

Het behuizingsmateriaal van de AC unit moet voldoen aan de eisen van tabel 1. Hierbij is gebleken dat EMC en schokbelasting de twee kritische testen zijn om een materiaal succesvol toe te kunnen passen.

Gebruikerseis	Minimale waarde
Temp- en vochtbestendigheid	STANAG 2895
Schokbelasting	AECTP400 - 30g
Vibratie bestendigheid	DEF STAN 00-35
EMC	MIL-STD 461D - CE102 - RE102-2 - RS103
Thermische Isolatie	Geen condensatie in extreem condities
Brandbaarheid en toxiciteit	DIN 54837

Materiaal selectie

TPC is verkrijgbaar met verschillende vezels en met verschillende matrix materialen, die elk hun voordelen en nadelen hebben. Voor dit project zijn de volgende materialen beschouwd:

Vezels

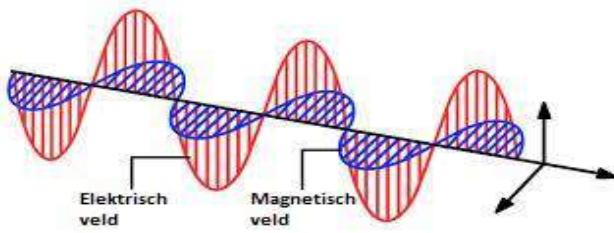
Glas	Carbon
+ Goedkoop	+ Hoge specifieke stijfheid
+ Goed verkrijgbaar	+ Potentieel EMC
- Lage specifieke stijfheid	- Duur

Matrix

Polycarbonaat	Polyphenylsulfide
+ Hoge slagvastheid	+ Hoogwaardig
+ Chemisch resistent	

EMC

Elektronische componenten kunnen elektromagnetische golven uitstralen. Dit zijn golven met een elektrisch en magnetisch veld zoals te zien in figuur 2 en dragen vermogen mee. Deze golven kunnen andere elektrische componenten beïnvloeden. Zo kan er ruis op de communicatielijn ontstaan of kunnen er fouten in bijvoorbeeld de besturing van het voertuig voorkomen. Dit mag niet gebeuren en daarom zitten er hoge eisen aan de Elektro Magnetische Compatibiliteit (EMC) van producten voor militaire doeleinden.



FIGUUR 2 - ELECTROMAGNETISCHE GOLF

De straling mag niet boven de in MILSTD 461D gestelde limiet komen. Als producten boven deze eis uit komen moet deze straling gedempt worden. Dit kan worden gedaan door afscherming van de straling door een dichte behuizing te maken. Een behuizing is dicht als alles geleidend op elkaar aangesloten is. Composiet is in principe niet geleidend, er zijn een aantal manieren om een geleidende behuizing te verkrijgen. Er kan een coating worden aangebracht of met een geleidend gaas in het materiaal worden gewerkt. Koolstofvezels zijn ook geleidend en kunnen eventueel als dampingmateriaal fungeren.

Het onderzoek vergelijkt TPC met het huidige materiaal aluminium. Bij TPC is er onderscheid gemaakt tussen glasvezel- en koolstofvezelversterkte laminaten. Bij glasvezel moet een RVS gaas zorgen voor de damping.

Hypothese

Aluminium is een dik, uniform en geleidend materiaal. TPC zal dus altijd minder dempen maar kan wel aan de gestelde eisen voldoen. Hierbij kan gekozen worden voor een glasvezellaag met een afschermingmateriaal of een koolstofvezel versterkt laminaat. Bij deze laatste optie heeft de dikte van het laminaat invloed op de dempingwaarde. Vanaf een bepaalde dikte is het gunstig om voor koolstofvezellaminaten te kiezen. Voorwaarde is dat de verschillende lagen in het laminaat onderling contact maken waardoor alle vezels geleidend verbonden zijn.

Testopstelling

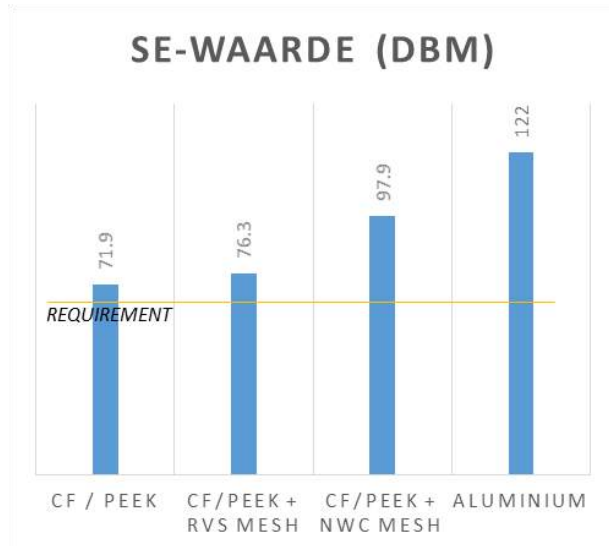
Er wordt getest in het 30-250 MHz gebied. Hiervoor worden twee antennes tegenover elkaar geplaatst, de ene antenne zendt een elektromagnetische golf en de andere antenne ontvangt deze golf, een computersysteem analyseert het verschil in in- en output. Er wordt eerst een meting door een meter lucht gedaan, dit is de referentiemeting voor alle andere metingen. Daarna wordt de ontvangstantenne in een EMC dichte kamer geplaatst, deze kamer heeft een vierkante uitsparing waar de proefstukken overheen worden geplaatst zoals te zien in figuur 3. De straling moet nu door het proefstuk en het verschil met de referentiemeting is de dempingswaarde van het proefstuk.



FIGUUR 3 - OPGESPANNEN CARBON/PEEK PROEFSTUK

Testresultaten EMC

In de onderstaande grafiek zijn de resultaten te zien. Hieruit blijkt dat de koolstofvezelversterkte platen minder scoren dan aluminium, maar dat ze nog wel voldoen aan de gestelde eisen, zelfs als er geen extra geleidingsgaas toegepast wordt.



FIGUUR 4 - SHIELDING EFFECTIVENESS

Schok

Een schok kan door verschillende oorzaken ontstaan. Een botsing of een zwaardere vorm, de impact van een projectiel. Het is belangrijk dat het airconditioning systeem ten alle tijden blijft functioneren en moet dus deze impact kunnen weerstaan.

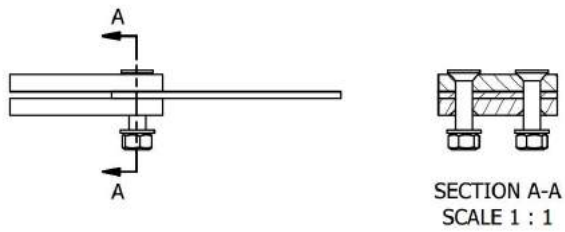
Schok is een dynamisch belasting die in alle richtingen werkt op de behuizing. Het is van belang dat de ophangpunten versterkt worden. Ze moeten zo ontworpen zijn dat de schok in de vezelversterkte richting wordt opgevangen of dat de gehele behuizing dusdanig sterk is dat de schok opgevangen kan worden. Voor TPC kan er makkelijk worden gekozen om plaatselijk te versterken en dit is het uitgangspunt van het onderzoek. Voor deze behuizing is er gekozen om aan de binnen- en buitenzijde ophangpunten te plaatsen zodat de transversale schok wordt opgevangen. Eerst wordt een statische benadering gedaan van de schokbelasting op het ophangpunt van de Boxer AC. Hierbij worden verschillende vezeloriëntaties, diktes, vezels en matrixmaterialen getest.

Hypothese

Door rondom het ophangpunt in meerdere richtingen vezelversterkingen toe te passen kan de schokbelasting beter worden opgevangen door het materiaal. Dit komt doordat de vezels onder een hoek van 45 en 90 graden de spanning kunnen overdragen op de vezels in longitudinale richting. Hierdoor worden deze op trek belast. Een [(0/90)(+45/-45)]s laminaat is het meest geschikt om de schok op te vangen.

Testopstelling

Twee platen van 35 x 75 mm worden aan het ophangpunt bevestigd. De ene plaat is van TPC en de andere van staal zodat slechts aan één kant van het ophangpunt een breukvorm optreedt. In figuur 5 is het proefstuk te zien. Deze wordt op de trekbank ingeklemd waarna deze met een constante snelheid wordt belast. De maximale kracht wordt gemeten en de kracht bij vervorming wordt afgelezen door de uitvoerder van het experiment.



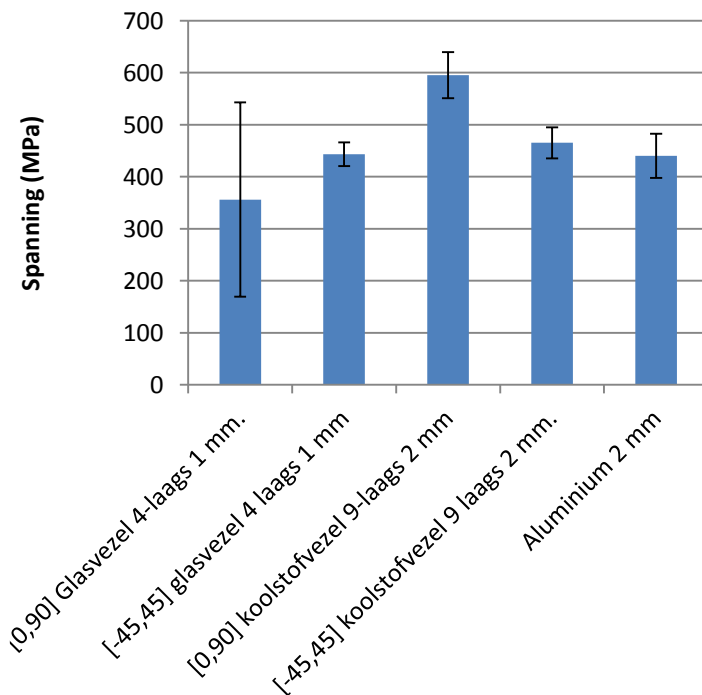
FIGUUR 5 - PROEFSTUK

Testresultaten

De proefstukken in onderstaande figuur laten zien dat de faalwijze van het beproefde ophangpunt sterk afhankelijk is van de toegepaste vezelrichtingen en dat deze significant anders is dan het aluminium.



FIGUUR 6 - VERSCHILLENDE FAALWIJZEN PROEFSTUKKEN



FIGUUR 7 - RESULTATEN STATISCHE TEST OP KOOLSTOF PROEFSTUKKEN

Uit de resultaten in bovenstaande figuur blijkt dat het mogelijk is om een hogere spanning op te nemen met een 0/90 koolstof laminaat dan met de huidige aluminiumplaat.

Conclusie

Op de twee kritische gebieden die bekeken zijn in dit onderzoek, EMC en schok, blijkt dat een koolstofvezelversterkt PPS laminaat de eigenschappen van de huidige aluminium plaat kan benaderen. Het gebruik van dit materiaal zal daarbij leiden tot een lager gewicht. Tijdens het onderzoek is echter wel gebleken dat de kosten van een TPC behuizing alleen interessant kunnen zijn bij een grotere oplage dan nu het geval is. Dit heeft vooral te maken met de hogere initiële kosten voor tooling, in de vorm van mallen en dergelijke.

4.8 OIM Orthopedie



ONDERBEEN PROTHESE

Partner:



OIM orthopedie

Bedrijfstak:

Producent van ortheses en protheses

Locatie:

Hoogeveen

Ontwikkeling van een beenprothese van thermoplastisch composiet

OIM Orthopedie is producent van ortheses en protheses. De huidige onderbeenprotheses worden op maat gemaakt naar de stomp van het geamputeerde lichaamsdeel. Het doel van dit onderzoek is om duidelijk te krijgen of door gebruik te maken van thermoplastische composieten de prestaties en de reproductie van protheses verbeterd zouden kunnen worden.

Onderzoek door: Marnick Hopster, Marnix van der Stouw, Hein Stork, Marc de Groot.

Probleemstelling

Het maken van protheses is maatwerk, ieder mens is anders en waar de één behoefte heeft aan een prothese waar de nadruk ligt op balans houden, heeft de ander een prothese nodig die vooral licht van gewicht is. Daarnaast spelen nog een aantal andere aspecten: zodra de operatiewond genezen is en de zwelling weg is, wordt in overleg met de arts gestart met het maken van de prothese. Het maken van een eerste prothese duurt maximaal 3 weken en de cliënt krijgt dan een functionele prothese waarbij de afwerking later volgt. Tijdens de revalidatie wordt de zwelling steeds minder waardoor de prothese regelmatig aangepast of vernieuwd moet worden. Aansluiting van de prothese op de stomp bepaalt het succes van de prothese.

Het is dus interessant om te kijken of met thermoplastisch composiet ergens winst behaalt kan worden op wellicht het gewicht van de prothese, op het laten aansluiten van de prothese op de stomp of op de doorlooptijd, bestaande uit het aantal bezoeken van de cliënt en/of minder arbeidsuren, wat kostenbepalend is.

Pakket van Eisen

Het materiaal moet zowel voor de producent als voor de cliënt voordelen bieden. Gelet moet worden op

- Huidvriendelijk materiaal waarbij geen irritatie door de vezels mag ontstaan,
- Eventuele inkooponderdelen moeten op de nieuwe koker aan te sluiten zijn,
- De nieuwe koker mag niet zwaarder zijn dan de huidige thermoset koker,
- De nieuwe koker moet mechanisch in ieder geval gelijk zijn aan de huidige thermoset koker.

Unique selling point van de thermoplastisch composiet koker zou kunnen zijn dat de koker aanpasbaar zou zijn na productie.

Onderzoeksopzet

In dit onderzoek is eerst gekeken naar de mechanische belasting in het gebruik van een onderbeenprothese. Daarna is op materialen gescreend gevolgd door conceptontwikkeling.

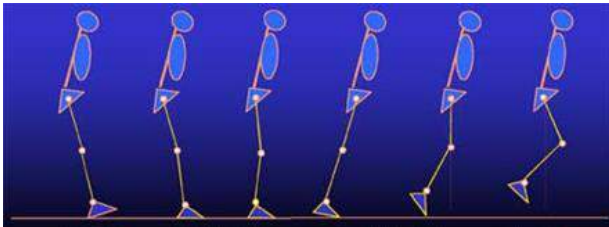
Huidige situatie

Productie koker

De productie van de huidige composiet thermoset koker is als volgt: door middel van een gipsafdruk van de stomp die op zijn beurt dan weer gevuld wordt, wordt eerst een positieve mal gemaakt. Om deze gipsen stomp wordt een binnenkoker van een thermoplastisch materiaal vacuümgetrokken, vaak PP of PE. Om deze vorm heen wordt dan weer een buitenkoker gemaakt door vezel versterkte laag van Perlan tricot (10-laags) met lokaal een koolstofvezelmatje om de binnenkoker te trekken. Vervolgens wordt door middel van vacuüminjectie een acrylhars (Orthocryl 617H19, Otto Bock) door deze sok getrokken. Omdat de buitenkoker is opgebouwd uit meerdere lagen Perlan en koolstof wordt de gewenste sterkte en stijfheid bereikt.

Mechanische belasting

Hielcontact Middenstandfase Afwikkelfase Zwaafase



FIGUUR 1 – LOOPCYCLUS

De grootste krachten tijdens de cyclus treden op tijdens het hielcontact wanneer het been onder een hoek van 70° ten opzichte van de grond staat (α). Bij normaal loopgedrag is de grootste grondreactiekracht die optreedt 1.1 maal het lichaamsgewicht. Omdat in de prothese geen enkelgewricht zit die door zijn rolwerking een deel van de kracht opvangt, wordt er gerekend met een maximale grondreactiekracht 1.3 maal het lichaamsgewicht (M). Voor de berekening wordt uitgegaan van een lichaamsgewicht van 80kg.

Situatie hielcontact

In deze situatie zit het kniegewricht op slot en kunnen we de hele prothese als één vast lichaam zien.

Stand van het been

$$\alpha = 70^\circ$$

Loopweerstand

$$F_{lr} = 200 \text{ N}$$

De grondreactiekracht

$$F_{gr} = 1,3 * g * m = 1,3 * 9,81 * 80 = 1020,24 \text{ N}$$

$$F_{r1} = \cos(\alpha) * F_{gr} + \sin(\alpha) * F_{lr} = \cos(20^\circ) * 1020 + \sin(20^\circ) * 200 =$$

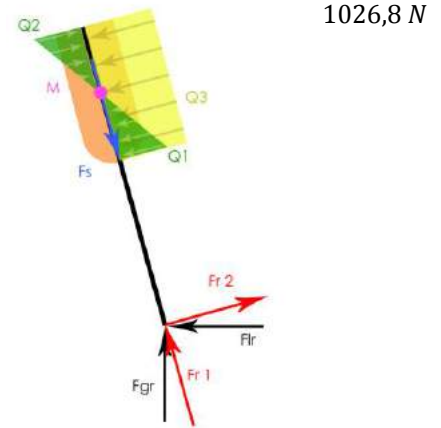
$$F_{r2} = \sin(\alpha) * F_{gr} - \cos(\alpha) * F_{lr} = \sin(20^\circ) * 1020 - \cos(20^\circ) * 200 = 161 \text{ N}$$

$$F_s = F_{r1} = 1026,8 \text{ N}$$

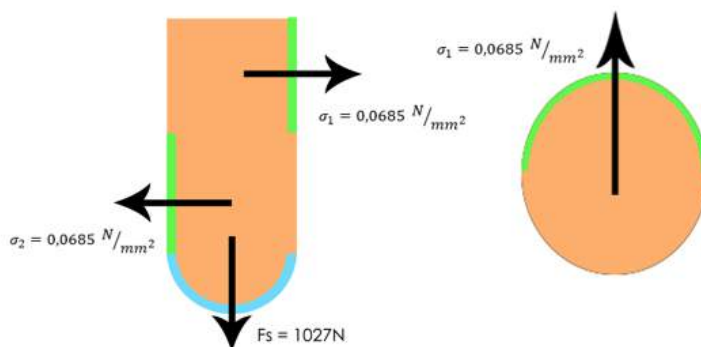
$$M = F_{r2} * 0,8 = 161 \text{ [N]} * 0,8 \text{ [m]} = 122,8 \text{ Nm}$$

$$F_{q1} = F_{q2} = \frac{122,8 \text{ [Nm]}}{0,08 \text{ [m]}} = 1535 \text{ N}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{F_{q1}}{A_{Fq1}} = \frac{1535 \text{ [N]}}{140 \text{ [mm]} * 160 \text{ [mm]}} = 0,0685 \text{ N/mm}^2$$



FIGUUR 2 – KRACHTENSPEL



FIGUUR 3 - SPANNINGEN IN DE PROTHESE

Conclusie: Dit zijn de optredende spanningen ervan uitgaande dat de stomp volledig omsloten is door de prothese. In de praktijk zal dit niet altijd het geval zijn. Zeker niet als de stomp slinkt. Hiermee is rekening gehouden door de meest ongunstige situatie te benaderen door de grondreactiekracht te ontbinden op het alleen het boven- of het ondergedeelte. In de praktijk zal echter altijd een combinatie van beide zijn.

Materiaalkeuze en conceptgeneratie

Aangezien het huidige product al bestaat uit Perlan en koolstofvezel, ligt de vezelkeuze redelijk open zo lang er geen direct contact met de huid is.

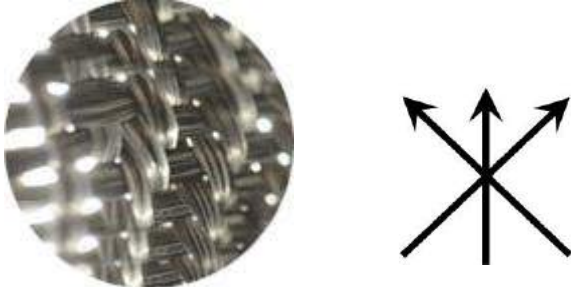
Ook wat betreft het matrix materiaal ligt de keus vrij open omdat thermoplasten wat betreft toxiciteit en rest monomeer gehalte beter scoren dan thermosets.

Met deze materiaalvrijheid zijn daarom 3 concepten ontwikkeld:

- Een koker gemaakt uit Twintex (Fiberglass Industries), een materiaal bestaande uit vezels van PP en E-glas (60-62wt%) die samen zijn gewoven tot een gestikt, zacht plooibaar materiaal wat door consolideren hard kan worden gemaakt.
- Een koker van Curv (Propex), wat bestaat uit PP versterkt met PP vezels.
- Een koker volgens het standaard OIM productieproces waarbij de thermoset acrylaathars gesubstitueerd wordt door de thermoplast acrylaat hars Elium (Arkema).

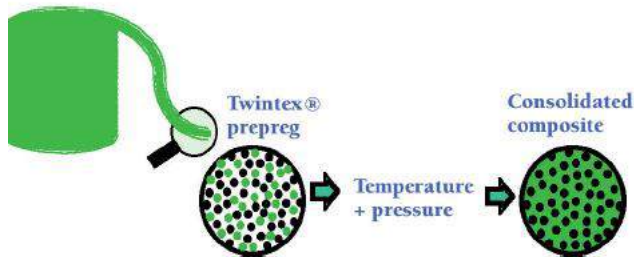
Concept 1 - Twintex

Het specifieke type Twintex [1] wat in deze studie gebruikt is, was een eenmalig sample verkregen uit de rioolrenovatie industrie, waarbij lange sokken van het materiaal in kapotte rioolbuizen worden aangebracht en na verhitten onder matige druk door consolidatie van het PP met de glasvezel, hard worden.



FIGUUR 4 – TWINTEX EN TRIAXIALE VEZELRICHTING VAN HET GEBRUIKTE TYPE, 0°, +45°, -45 °

Door het plooibare weefsel in een kousvorm te naaien met de vezelrichting zoals beschreven in figuur 2 kan een prothese verkregen worden die zowel de elliptische als de verticale krachten op kan vangen.



FIGUUR 5 – TWINTEX CONSOLIDATIE

Voor het consolideren van materiaal werd gevonden dat dat het beste kon bij $T > 190^{\circ}\text{C}$ en lichte druk, waarna het materiaal moest afkoelen onder druk om kromtrekken te voorkomen.

Voor het maken van het prototype werd daarom als ondergrond een binnenkoker van PP gebruikt zoals nu al gebruikelijk is in het huidige productieproces, waarna het verwarmde materiaal over de binnenkoker werd gedrapeerd en de consolidatie handmatig met rollertjes werd bereikt. Doordat de binnen- en buitenkoker van hetzelfde materiaal zijn, kon goede hechting tussen beide lagen verkregen worden.



FIGUUR 6 – PROTOTYPE VAN DE TWINTEX KOKER

Concept 2 - Curv

Vanwege de huidige PP binnenkoker was een tweede logische materiaalkeuze Curv [2]. Dit materiaal bestaat uit verstrekte PP vezels in een PP matrix en wordt in allerlei diktes verkocht, is non-toxisch en bestand tegen impact, simpel en veilig te verwerken in standaard werkplaatsen en het zou het voordeel op leveren dat een eventuele totale koker compleet uit PP zou bestaan.

Het verwerken van Curv komt echter heel nauw [3], want er moet voorkomen worden dat de verstrekte vezel compleet opsmelt in het matrix materiaal en een dubbele mal is voor een gecompliceerde vorm als een onderbeenprothese een vereiste. Door de hoge stijfheid van het materiaal is subtiële opwarming van het materiaal nodig onder een druk van 15 bar; daarnaast kan het materiaal niet met vacuümvorming worden verwerkt. Propex, leverancier van het materiaal, heeft aangeboden om een aantal kokers te produceren voor OIM.

De diepte van de koker bleek een probleem. Waar de eerste 10 cm van de diepte nog plooienvrij gevormd kon worden, kwamen daarboven op de prothese plooien in het materiaal wat de mechanische eigenschappen niet ten goede komt. Op het gebied van het hervormen van het materiaal bleek dat binnen het OIM lab geen goede controle over het proces uitgeoefend kon worden.

Omdat deze tests met de Curv onderbeenkokers niet succesvol bleken, is er nog een poging gedaan om Curv te gebruiken als lokale versteviging binnen het huidige proces. Hierbij werd aan beide zijde van het anker Curv cirkels van 20 cm doorsnee en 0,66 mm dikte aangebracht.



FIGUUR 7 – PROTHESE MET EEN KLEINE CURV KRAAG (ZWART) TER VERSTEVIGING ROND HET ANKER

Met deze prothesen zijn mechanische testen uitgevoerd bij kamertemperatuur en bij 40 °C door deze in de trekbank te belasten maar ook een zijwaartse druk uit te oefenen. Bij deze laatste test werden de proefstukken onder een hoek van 20° met 300, 400 en 500N belast.



FIGUUR 8 – TREKTEST EN ZIJDELINGSE DRUKBANK TEST

Waar de huidige prothesen bij beide temperaturen door de tests heen kwamen, kwamen de Curv prothesen alleen door de kamertemperatuur test.

Concept 3 – Elium hars

Dit laatste concept speelt in op het huidige productieproces van de onderbeen protheses door de huidige acrylaathars, Orthocryl 617H19 (Otto Bock), te vervangen door de Elium 150 hars (Arkema).

De Elium hars bestaat uit acrylaat monomeren, heeft net als de huidige hars een lage viscositeit die het geschikt maakt voor vacuüminfusie, maar na de polymerisatie levert het een thermoplastisch materiaal op. Door het substitueren van de thermoset acrylhars door deze hars zou een onderbeenprothese verkregen kunnen worden die na polymerisatie nog steeds hervormbaar is [4].

Deze Elium hars kan gebruikt worden met zowel koolstofvezel als glasvezel en is door middel van vacuüminfusie (-500 mbar) verwerkbaar; uitharding wordt geïnitieerd door middel van 2-3% Perkadox CH50 en het materiaal moet onder vacuüm gehouden worden tijdens uitharding. In tegenstelling tot thermoset harsen die na uitharding vormstabiël zijn, kunnen deze harsen door post-thermoforming nog in dimensies aangepast worden en zelfs gelast worden net zoals thermoplasten.

Deze harsen hebben ook ten opzichte van andere thermoplastische composieten een aantal voordelen te bieden, zoals bijvoorbeeld het feit dat het materiaal door zijn lage viscositeit geschikt is om erg complexe geometrieën te creëren, maar het is ook met goedkope productiemethoden te verwerken waardoor geen dure matrijzen of persen nodig zijn.

Eén van de grote nadelen van de Elium hars is alleen zijn VOC (volatiele organische compound) gehalte, 70-80% vergeleken met 50% VOC voor de huidige Orthocryl hars. In beide gevallen bestaat het monomeer uit methacrylaat.

In het lab van OIM zijn 5 protheses geproduceerd met vacuüm infusie, waar bij de hars 3% Perkadox CH50 was toegevoegd als initiator:

1. Referentie koker met de huidige hars en de huidige opbouw van het laminaat, dus tricot + lokale koolstof versteviging.
2. Referentie koker met de Elium hars en de huidige opbouw van het laminaat, dus tricot + lokale koolstof versteviging.
3. Een koker met de Elium hars met alleen strakgespannen tricot.
4. Een koker met de Elium hars met losse tricot om beter meescharen van de vezels te kunnen geven.
5. Een koker met de Elium hars met een elastische tricot.

Het resultaat was 5 kokers, zie figuur 9 voor koker #3.



FIGUUR 9 –PROTOTYPE ELIUM HARS

In het huidige productieproces bleek de Orthocryl hars heel simpel gesubstitueerd te kunnen worden door de Elium hars.

Direct nadat de kokers van de mal genomen waren, werd geprobeerd om het materiaal te vervormen. Er bleek echter geen verschil te zitten tussen de kokers gemaakt van de standaardhars vergeleken met die met de Elium kokers. Daar moet bij gezegd worden dat binnen de huidige faciliteiten van het lab geen goede controle kan worden uitgeoefend op druk en temperatuur, maar ook dat doordat de thermoset kokers niet nagehard worden, het mogelijk is dat de kokers nog niet hun eindsterkte hebben bereikt en dus redelijk toegeeflijk zijn.

Wel kon geconcludeerd worden dat er meer vervorming mogelijk was met de koker gemaakt van het elastisch tricot dan met de standaard laminaat opbouw wat de hypothese onderbouwt dat reshaping deels gelimiteerd wordt door het vermogen van de vezels om mee te kunnen scharen.

Mogelijke optimalisaties

Om concept 1, de twintex koker, te optimaliseren is het nodig om bij vervolgprouwen het materiaal onder vacuüm te laten consolideren in plaats van handmatig. Hierdoor zullen een gladder oppervlak en betere mechanische eigenschappen verkregen worden.

In beide gevallen, concept 1 en 3, moet gedacht worden aan een betere set up voor reshaping. Het is wenselijk om tijdens dit proces druk aan beide kanten van het laminaat uit te oefenen en om het laminaat gelijkmatig aan beide kanten te verwarmen. Bij reshaping met Elium glasvezel composiet wordt in de industrie 5-20 bar gebruikt; de huidige setup benadert dat uiteraard niet. Ook moet onderzocht worden welk grootte oppervlak verwarmd dient te worden om een relatief kleine vervorming te kunnen maken. Tot slot kan de laminaatopbouw nog aangepast worden om op die plekken waar de meeste aanpassingen aan de kokers gemaakt moeten worden, een toegeeflijker vezelversterking te gebruiken terwijl op andere plekken waar de meeste sterkte vereist is, lokaal versteviging door koolstofvezels strips aan te brengen.

Conclusies

Net zoals bij andere deelprojecten, zoals bijvoorbeeld de katrol van Rondal, is het hier ook het geval dat met de gebruikte laagdrempelige productietechnieken het heel moeilijk wordt om voldoende consolidatie te bereiken en daardoor de hoge mechanische eigenschappen te verkrijgen die haalbaar zijn én nodig voor dit product.

Plooivorming in het materiaal tijdens het thermovormen van het Curv laat zien hoe moeilijk het is om diepe vormen te maken uit TPC.

De Elium hars, ondanks zijn grote nadeel van VOC emissie, laat potentieel zien door zijn eenvoud in verwerking waardoor met vacuüminfusie op eenvoudige wijze hele diepe vormen gemaakt kunnen worden. Hierdoor is het snel te implementeren binnen het huidige productieproces. Door de prijs, rond de 8 €/kg voor een jaarafname van 500kilo/jaar, is de systeemprijs vergelijkbaar aan de huidige thermoset koker en is het een kansrijk idee om verder uit te werken.

Referenties

[1] www.twintex.com

[2] www.curvonline.com

[3] Curv_processing-guide-by_Propex.pdf

[4] <http://www.arkema.com/en/products/product-finder/range-viewer/Elium-resins-for-composites>

4.9 People Creating Value



Partner:
 PEOPLE CREATING VALUE People Creating Value
Bedrijfstak:
Design consultancy voor integraal productontwerp
Werknemers:
40 vaste werknemers, 40 externe experts
Locatie:
Enschede

BESCHERMING VAN THERMOPLASTISCH COMPOSIT TAPPE OP KOPPELSTUKKEN VOOR ONDERGRONDSE TOEPASSING DOOR INSERT MOULDING (CONCEPT 2)

Bescherming van PE koppelstukken versterkt met TPC tape

Om drainagebuizen van PE van verschillende diameters aan elkaar te koppelen worden PE koppelstukken gebruikt. Een klant van People Creating Value (PCV) versterkt deze gespuitsgiete koppelstukken met thermoplastisch composiet tape van E-glas en HDPE om hun performance onder de grond te verbeteren. De opdracht was om deze versterkte koppelstukken te beschermen tegen de invloeden van het ondergrondse milieu maar ook tijdens het plaatsen in het werk.

Onderzoek door: Robbin Meester, Jerry van der Weide, Maïke van de Kolk, Mathijs Bruins, Tjalke Zijlstra.

Probleemstelling

De koppelstukken worden onder de grond toegepast en hebben een levensduurgarantie van 25 jaar. Om dit te kunnen verwezenlijken wordt UD tape van HDPE/glas (Celstran CFR-TP HDPE GF70-01 van Ticona, 70 gew% glas) rondom aangebracht, dit helpt kruip en delaminatie te voorkomen. Hiervoor worden de koppelstukken direct na het spuitgieten door een tapelaying robot bewerkt. Afhankelijk van de diameter van het koppelstuk kan het aantal lagen unidirectionele tape variëren van 2 tot 6. Vanwege het hoge glasgehalte is er echter wel een grotere kans op filamentbreuk aanwezig. Dit zou voorkomen kunnen worden door de tape te beschermen tegen transportschade als ook tegen o.a. chemische invloeden van buitenaf in de toepassing zelf, te meer daar E-glas slecht corrosiebestendig is.



FIGUUR 1 - KOPPELSTUK MET DAAROP AANGEBRACHT UD TAPE VAN HDPE EN E-GLAS

Voor het ontwerp van het beschermingssysteem en het aantonen van een aantal werkingsprincipes is binnen deze opdracht ervoor gekozen om uit te gaan van een buis met één diameter in plaats van een koppelstuk.

Pakket van Eisen

Het streven is om het beschermingssysteem aan te brengen binnen het productieproces van het koppelstuk zelf en dat de oplossing toepasbaar zal zijn voor een scala aan diameters.

Daarnaast dient de bescherming bestand te zijn tegen temperaturen variërend van -20 tot 60 °C, eventuele verontreinigingen in de grond en een industriële robuustheid met lange levensduur uit te stralen. De oplossing moet intrinsiek milieuvriendelijk zijn en zo laag mogelijk in kostprijs (materiaal, productie en investeringen) uitvallen.

Onderzoeksopzet

Het onderzoek is gestart met literatuurstudies naar bodemverontreinigingen, corrosiebestendigheid van kunststoffen en E-glas. Omdat E-glas niet bekend staat als corrosiebestendig, is door de klant een tweede tape aangebracht, Ticona PP-GF70 (12 x 0.25 mm), waarmee een lange termijn corrosietest ingezet werd bij pH 3, 7 en 11 waarbij op tijdstippen $t = 0, 1, 3, 6, 9, 12$ maanden en $T=25$ en 40°C een aantal mechanische eigenschappen worden gemeten om een beeld te krijgen van de corrosiebestendigheid van deze nieuwe tape. Hierna zijn concepten gegenereerd die gewogen werden op het pakket van eisen. Tot slot is één van de concepten, getest op ondergronds gedrag.

Conceptgeneratie

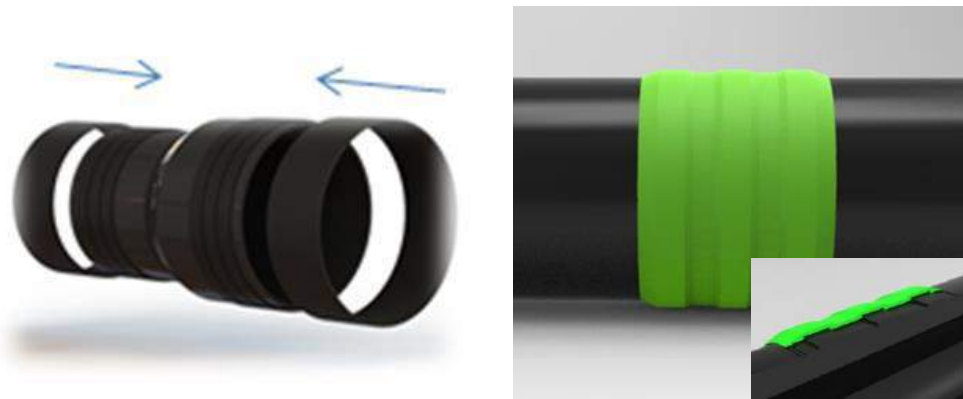
Om de materiaalkeuze van de bescherming te bepalen, is onderzocht welke verontreinigingen in de grond aanwezig kunnen zijn en welke materialen het beste daar tegen bestand zijn. PE, de kunststof waaruit het koppelstuk zelf gemaakt is, bleek een redelijk goede chemisch resistente keuze [1] tegen de gevonden bodemverontreinigingen als oliën, aromaten, pesticiden en zware metalen [2]. Tevens is PE erg interessant wat betreft de kostprijs.

In overleg met de opdrachtgever bleken van het Pakket van Eisen de langdurige beschermende functie en de toepasbaarheid in combinatie met het huidige productieproces de belangrijkste eisen van het beschermingssysteem.

Vervolgens zijn er 4 concepten gegenereerd die aan deze eisen voldoen. Ook is er een detectiemethode ontwikkeld die het mogelijk maakt om vezelbreuk in de tape aan te tonen. De concept richtingen waren:

1. Extrusiessen van PE opzetstukken waarbij letterlijk een buis om een buis wordt gezet.
2. Insert moulding met verschillende kleuren PE voor snelle kleur identificatie van verschillende typen of diameter koppelstukken.
3. Afdichtringen van het chemisch resistente Polyethylene rubber (CSM chlorosulphonated polyethylene) die door opspannen aangebracht konden worden.
4. Een PE-schuim dat als mantel om het koppelstuk kan worden aangebracht. Deze beschermlaag zou door middel van lassen aan het koppelstuk bevestigd worden.

Het spreekt voor zich waarom PE uit de literatuur screening gekomen is; goede hechting op het koppelstuk, milieubewustzijn en prijs/ kwaliteit verhouding speelden een rol, maar ook was er de verwachting dat de nieuwe koppelstukken makkelijker door een eventuele normeringskeuring zouden komen.



FIGUUR 2 – CONCEPTEN 1 EN 3

Detectiemethode

Omdat er beschadigingen tijdens transport en het plaatsen van de koppelstukken in het werk kunnen plaatsvinden, is het idee geboren om een detectiemethode te ontwerpen die aan de buitenkant van het beschermstelsel vezelbreuk kan aantonen die is ontstaan na de fabricage. Dit concept combineert een bescherming en een detectiemethode en bestaat uit een PE band die met extrusielassen wordt aangebracht, waarop tijdens productie van de PE band een elektrisch geleidende draad (Stainless Steel 17-7 PH) wordt meegetrokken met dezelfde treksterkte als de glasvezels. Het circuit van de draad loopt niet over de hele omtrek maar heeft twee uiteindes waar een testapparaat voor stroom op gezet kan worden. Hierdoor ontstaat een systeem waarmee de kwaliteit van het koppelstuk geborgd kan worden door een simpele controle vóórdat het koppelstuk in het werk geplaatst wordt.



FIGUUR 3 – EXTERNE DETECTIEMETHODE VOOR VEZELBREUK

Concept test

Productiemethode concept 4

Omdat het concept van de PE schuimmantel het minst vormstabiel was, is er voor gekozen om het uit te werken met ondergrondse testen. Om het concept te realiseren is gewerkt volgens het las-klem principe zoals ontwikkeld voor de case van de dekluiken van Rondal. Het gebruik van las-klemmen is noodzakelijk om de vormvastheid van de thermoplasten te kunnen garanderen. Ook het wegvloeien van het materiaal bij de verwerkingstemperatuur wordt zo tegen gegaan.



FIGUUR 4 – LAS-KLEM METHODE

Voor dit concept werd een HDPE buis (buitendiameter van 50 mm, wanddikte 3.1 mm) met daarin een stalen kern verhit tot 170 °C. De kern is er voor om de buis vorm-stabiel te houden als het PE boven de smelttemperatuur komt. Hierna werd buisisolatiemateriaal van PE schuim met een gesloten celstructuur en een dikte van 30 of 25 mm dikte aangebracht, gevolgd door een metalen band om het geheel vast te klemmen totdat het geheel is afgekoeld. Met deze methode konden goede lassen verkregen worden die bij scheurtesten scheurden in de

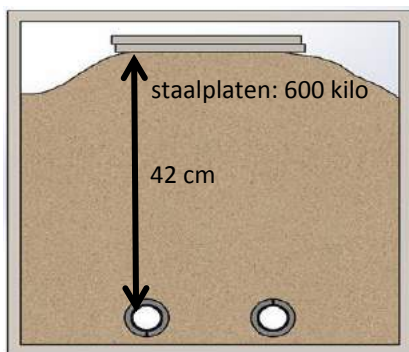
schuimlaag en niet op de interface. De diktes van de schuimlagen bleken na het lassen ongeacht de originele dikte van het schuim, altijd met 9 mm af te nemen door het versmelten van het schuim met de buis. Deze eerste gesmolten laag zal de eerste barrière vormen voor invloeden van buitenaf op de tape.



FIGUUR 5 – BESCHERMLAAG VAN PE SCHUIM

Testopstelling concept 4

Om het ondergrondse gedrag als doorbuiging en inzakking van de schuimbeschermd PE buizen te bestuderen werden de buizen ingegraven in een met zand gevulde plexiglasen testbak van 70x70x350cm, waarbij de buizen met de opening tegen de wand werden gezet en bedekt met 600 kilo stalen platen gedurende 2 weken met rust werden gelaten.



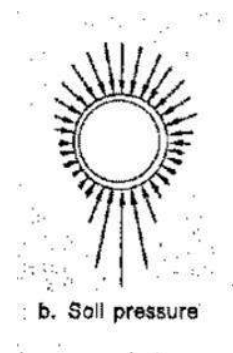
FIGUUR 6 – TESTOPSTELLING CIVIELE TECHNIEK WINDESHEIM

Resultaten concept 4

De afstand van de bovenkanten van de proefstukken tot de bovenkant van het zand was 42 cm en zakte 2 cm in na het plaatsen van de stalen platen. Na 2 weken, was deze hoogte ingezakt tot 37 cm.

De proefstukken zijn voor de start van de proef en na 2 weken in de testopstelling op 4 punten gemeten op dikte: boven- en onderkant, zijkanten links en rechts. De schuimlagen werden ingedrukt volgens onderstaande afbeelding. Na 2 weken werd gemeten dat de schuimlaag aan de boven- en onderkant ongeveer 50% ingedrukt waren, terwijl de zijkanten maximaal 25% lieten zien.

Na het wegnemen van de belasting, veerden de schuimlagen terug naar hun oorspronkelijke vorm in 24 uur wat een indicatie is dat de celstructuur zijn elasticiteit behouden heeft.



FIGUUR 7 – SOIL PRESSURE ON TRENCHED PIPES [3]

Mogelijke optimalisaties

Alhoewel alle conceptringen op basis van de hoofdeisen haalbaar lijken, moet nog het één en ander uitgezocht worden om ze daadwerkelijk toepasbaar te kunnen verklaren. Zo zijn waterdichtheid en chemische resistentie van de totaal oplossing nog niet duidelijk, maar daarnaast is het natuurlijk ook wenselijk dat het type glas van de tape zo chemisch resistent mogelijk wordt uitgekozen. De lopende corrosietesten zullen inzicht moeten verschaffen in de kwaliteit van het tweede type tape die voor deze case is aangedragen.

Conclusies

Met de eerder ontwikkelde laagdrempelige lasmethode is het ook mogelijk om goede hechting te bereiken tussen thermoplasten en thermoplastische schuimen.

Door PCV werd van de ontwikkelde concepten concept 2, insert moulding, het meest haalbaar geacht. Het is een robuuste oplossing die volledig te automatiseren is en alhoewel de kosten hoog zullen zijn vanwege de investeringskosten en de matrijzen, kan het toch bij grote aantallen commercieel haalbaar zijn. Door PCV gaat dit concept meegenomen worden in het ontwikkelproces met hun klant.

Referenties

[1]<http://www.akatherm.nl/files/industrie/Chemische%20resistentielijst%20FIP.pdf>

[2]<http://www.bodem.info/?id=5879>

[3] <http://www.pipestress.com/papers/undergrd-2.pdf>

4.10 Rondal



Partner:

RONDAL

Rondal

Bedrijfstak:

Luxe jachtbouw

Locatie:

Vollenhove

TOEPASSING VAN TPC IN DE LUXE JACHTBOUW MET HOGE EISEN AAN LICHTGEWICHT EN KLIMAATINVLOEDEN.

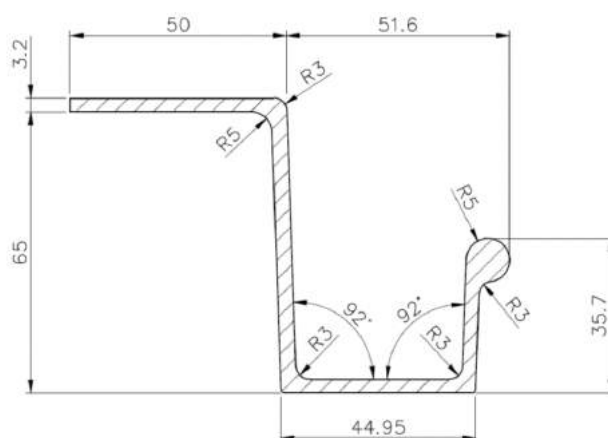
Ontwerp van een luikgoot uit TPC

Rondal ontwerpt en produceert veel producten voor luxe jachten, waaronder luiken en deuren. De huidige materialen die toegepast worden bij de huidige luiken zijn voornamelijk aluminium, RVS en carbon/glasfiber met een epoxy matrix. Voor dit TPC project is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om thermoplastische composieten toe te passen in de dekluiken van Rondal. Tijdens deze case is er vooral gefocust op de luikgoot profielen. Aspecten die aan bod zijn gekomen zijn het herontwerpen van het luikprofiel op een modulaire manier, en het verbinden van de luikgoot profielen door middel van een lasmethode.

Onderzoek door: Peter-Bas Schelling, Wouter Rorije, Emiel Jansen of Lorkeers, Mark Stapel

Probleemstelling

Rondal is constant bezig met het zoeken naar nieuwe technieken om producten te fabriceren voor luxe jachten. Het gebruik van geavanceerde materialen als thermoplastische composieten kan interessant zijn om unieke producten te verkrijgen. Als case voor het TPC project is het dekluk gekozen. Het doel was om te onderzoeken of het gebruik van thermoplastische composieten een mogelijke vervanging is voor thermoset composieten voor de productie van luiken.



FIGUUR 1 - THERMOSET LUIKGOOTPROFIEL

De huidige luikgoten zijn afgeleid van de aluminium extrusieprofielen die Rondal gebruikt voor de productie van aluminiumluiken. De globale afmetingen van de carbon-epoxy luiken zijn gelijk aan de aluminiumdelen.

Als referentie voor deze case is uitgegaan van een luik van 700x700mm (L x B). De belastingen op de luiken volgen uit de eisen die gesteld zijn in deze ISO 12216. Deze stelt dat de waterdichtheid en vorm van de constructie gewaarborgd moet zijn bij een bepaalde waterdruk. Afhankelijk van de plaats op het schip waar het luik geïnstalleerd wordt, is deze druk volgens deze ISO norm 15 of 35 kPa. Tijdens deze case is gerekend met 30 kPa, corresponderend met de luiken in een 15 kPa gebied, met een veiligheidsfactor van 2.

Rondal heeft als wens gesteld dat de TPC luiken op een modulaire manier geassembleerd moeten worden.

Huidige situatie

De huidige thermoset luiken worden gemaakt in dubbelzijdige mallen, voor elke luikgoot wordt er een dubbelzijdige mal gemaakt. De mallen worden uit MDF platen gefreesd en gecoat met een polyurethaan laag om de oppervlakte glad te krijgen. Het lamineren wordt met de hand gedaan met prepreg carbon. Wanneer de juiste dikte bereikt is, worden de dubbelzijdige mallen gesloten. Het curen wordt in een autoclaaf gedaan, rond 140 °C.

Onderzoeksopzet

Het materiaal en het herontwerp moet op dezelfde manier toegepast kunnen worden als de huidige luiken van Rondal, dus de globale afmetingen blijven gelijk. Overige uitdagingen zijn;

- Het creëren van een modulaire opbouw van de luikgoot en standaardisatie,
- Onderzoeken welke materiaaldikte nodig is aan de hand van krachtberekeningen,
- Productie met TPC van een relatief beperkte oplage,
- De maakbaarheid van de complexe luikgootvorm uit TPC,
- Het verbinden van de luikdelen met een lasproces.

Als eerste werd de meest geschikte productiemethode gekozen om de luiken mee te vormen. Aan de hand van de productiemethode en de eis om het modulair te maken werden concepten bedacht. Vervolgens werd een dubbelzijdige mal ontworpen en uitgefreesd. Hier zijn prototypes mee geperst.

Tijdens de laatste fase van het project is het verbinden van de gootdelen doormiddel van een lasproces onderzocht.

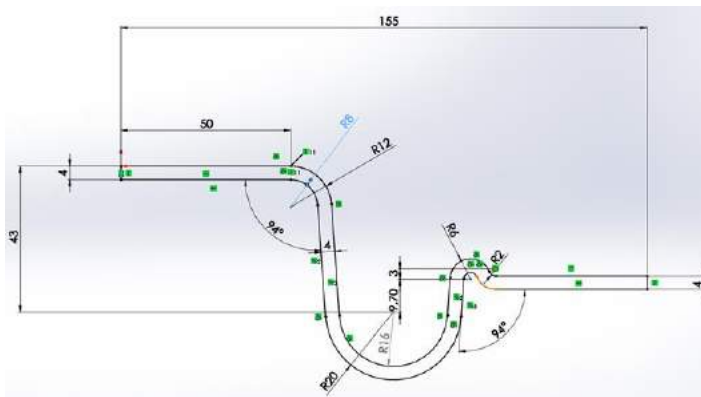
Concept generatie

Een van de grootste uitdagingen tijdens het persen van de gootdelen is het plooiën van de vezels, deze plooiën moeten zoveel mogelijk vermeden worden om de oppervlakte goed te krijgen en de mechanische eigenschappen niet te verzwakken. Uit dit project kan geconcludeerd worden dat de rechte gootdelen goed gevormd kunnen worden, zie figuur 2.



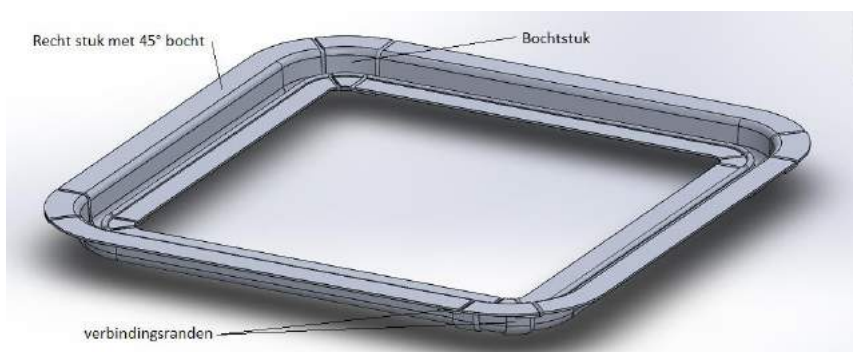
FIGUUR 2 - THERMOVORMEN VAN DE RECHTE GOOTDELEN

Tijdens de eerste fase van het project is geprobeerd om met een enkelzijdige mal, een luikgoot deel te vacuümvormen. Hieruit bleek dat een dubbelzijdige mal nodig was om de delen te persen vanwege de diepte van de goot. Het profiel werd daarbij aangepast, waarbij scherpe hoeken werden vermeden, zie figuur 3.



FIGUUR 3 - HERONTWERP GOOTPROFIEL

In de prototypes zitten 'plakranden' verwerkt, zie figuur 6 en 8, zodat de geperste delen aan elkaar konden worden verbonden in een later stadium van het project. Aan de hand van de ervaringen en resultaten van het vormen van gootdelen, zijn vervolgens enkele concepten voor het produceren van volledige luiken overwogen. Uiteindelijk is ervoor gekozen om gebruik te maken van rechte stukken in combinatie met bochtstukken met een hoek van 45°. Haakse bochtstukken lijken aanvankelijk moeilijk om te maken omdat het weefsel zich dan in 2 richtingen moet vormen wat veel plooien oplevert.



FIGUUR 4 – EINDCONCEPT LUIK

Materiaal selectie

Vezels

Voor de productie van de gootdelen zijn verschillende materialen toegepast. Namelijk glasvezel, carbon en een combinatie daarvan. Het toegepaste weefsel was een Twill (2 om 2) weefsel. Deze is gekozen omdat deze zich makkelijker laat plooien dan vierkant geweven vezels (1 om 1). Het hoofddoel was om te bewijzen dat vezel versterkte thermoplast zich kon vormen naar het gootprofiel.

Matrix

Voor de matrix zijn de volgende eigenschappen van belang:

- Vochtopname,
- UV Stabiliteit,
- Temperatuur bestendigheid.

Een groot aantal thermoplastische polymeren is gescreend op de benodigde eisen en uiteindelijk is de keuze gevallen op TPU, vanwege de:

- Lage verwerkingstemperatuur 210°C,
- Maximale gebruikstemperatuur van 90°C,
- Uitstekende oppervlaktekwaliteit.

Gekozen materiaal

Acht gootdelen zijn geproduceerd bij CATO. Daarbij zijn 3 verschillende laminaten van Bond Laminates gebruikt.

- 4x TPU/ glasvezel (2x2 mm) (TEPEX optilite 108-FG290(x) / 45%),
- 2x TPU/ glasvezel + glasvezel met zilverpoeder(1x2 mm & 2x1 mm),
- 2x TPU/ glasvezel +carbon + glasvezel met zilverpoeder (1x2 mm & 4x0,25 mm & 1x1 mm).

Verbinden Gootdelen

Tijdens het laatste deel van deze case is het verbinden van de gootdelen onderzocht. Een groot voordeel ten opzichte van thermosets, is dat het materiaal aan elkaar kan worden gelast. Na het afwegen van diverse mogelijke lasmethodes is gekozen voor een weerstandlasmethode. Hierbij is gebruik gemaakt van een conventioneel elektrode lasapparaat.

Proefstukken en single lap shear proeven

Om het gevoel voor het lassen te krijgen en de sterkte te bepalen zijn er proefstukken gemaakt voor single lap shear testen. Een overlap van 25mm werd over een lengte van ongeveer 240 mm gelast. Dit lange proefstuk werd na het lassen in kleinere proefstukken gesneden, waarbij de overlap een oppervlakte van 25x25 mm was. Het materiaal dat hiervoor gebruikt is was een laminaat van 2 mm dik, Tepex dynalite, 104-RG600(4)/47% black TypB wat 50% glas bevat.

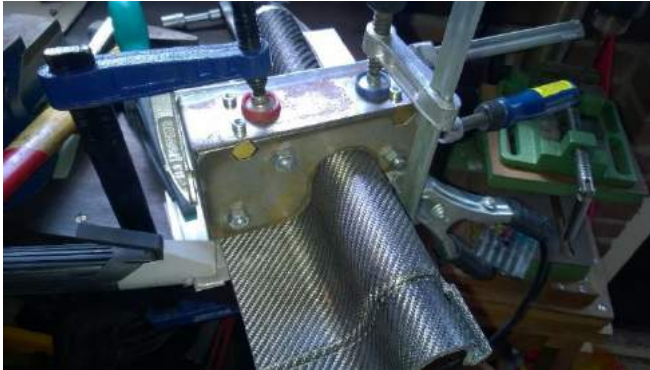
De weerstandlasmethode maakt gebruik van een susceptor in de vorm van een metalen gaasje. Wanneer daar een grote stroom doorheen wordt geleid, wordt deze heet. Hierdoor zal de omringende matrix gaan smelten en vloeien. De vlakken moeten onder een bepaalde druk zijn om de vlakken aan elkaar te laten hechten. Voor de proefstukken is dit bereikt met een stalen u-profiel en lijmklemmen, zie figuur 5.



FIGUUR 5 - LASSEN VAN 2 TPC PLATEN

Drukmal

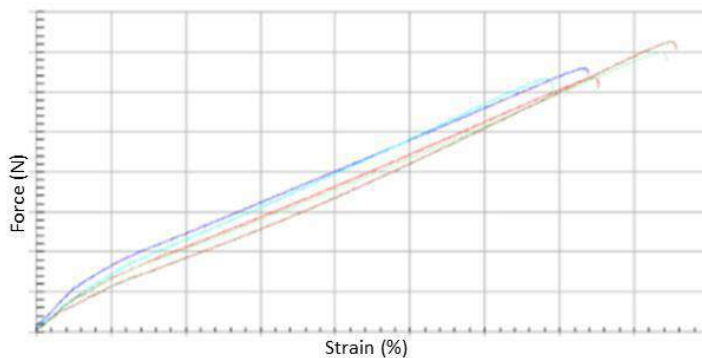
Voor het gootprofiel is een aparte drukmal ontworpen om te gebruiken voor de complexe ronde vorm zodat druk verkregen kon worden over het hele oppervlakte van het profiel, inclusief de verticaal lopende delen. Het drukkende gedeelte van de mal is gemaakt van 2 componenten siliconenrubber, waarbij een gootdeel als mal heeft gediend. De onderzijde werd ondersteund door de mal die gebruikt is om de gootdelen te persen, zie figuur 6.



FIGUUR 6 - LASOPSTELLING GOOTDEEL, MET DRUKMAL

Resultaten en discussie

Proefstukken met diverse lasparameters zijn op het Polymer Science Park op de trekbank getest op afschuiving. Hieruit bleek dat de bezwijkspanning over de gehele lengte van de las relatief constant was.



FIGUUR 7 - TESTRESULTATEN SINGLE LAP SHEAR

De gemiddelde bezwijkspanning bij de meest representatieve trekproeven lag op 12,3 MPa.

$$\tau = \frac{P}{b \times L} \rightarrow \frac{7686}{25 \times 25} = 12.3 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

De samples hadden een matrix van polypropyleen. De treksterkte van de PP ligt op 34,5 Mpa. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de las een sterkte heeft van 35,6% van de matrix. Een optimalisatieslag kan hierbij nog worden gehaald door optimalisatie van de lasparameters, en het gebruik van ander gaas.

Kostenberekening

Een kostenberekening is gemaakt om de productiekosten van een TPC luik weer te geven. De kosten zijn verdeeld in eenmalige kosten voor tooling en productiekosten per luik. De kosten voor de gootdelen zijn gebaseerd op een oplage van 1000 gootdelen (250 luiken), geproduceerd bij CATO in Doesburg.

Kosten TPC luikgoot		
Eenmalige kosten	bedrag [€]	
Lasapparaat	250	
Drukmal+ Opstelling	2300	
Matrijzen	8500	
Totaal	11050	
Productiekosten	Per stuk (€)	Per luik (€)
Gaas	0,6	4,8
Productie gootdeel bochtstuk		
Full Carbon	75	300
Carbon + Glasfibre	40	160
Productie gootdeel recht stuk		
Full Carbon	250	1000
Carbon + Glasfibre	130	520
Arbeid gootdelen lassen	50	400
Totaal		
Full carbon luikgoot		1704,8
Carbon + glas luikgoot		1084,8

Mogelijke optimalisatie

Een belangrijke optimalisatie is om de mallen nog nauwkeuriger vorm te geven. Vooral bij het verbinden is het van belang dat de vlakken exact op elkaar komen te liggen waardoor hechting geoptimaliseerd wordt.

Het vormen van de bochtstukken is nog een deel dat uitgetoetst moet worden. De bochten hebben een dubbele kromming waardoor nog onzeker is hoe het weefsel zich gaat gedragen tijdens het vormen.

De sterkte van de lassen die bereikt zijn tijdens dit project liggen tussen 33 en 35,5 % van de treksterkte van de hars of matrix. Door het gebruik van ander gaas en het optimaliseren van de parameters zou in theorie de treksterkte te benaderen moeten zijn. Tijdens het onderzoek is als gaasmateriaal RVS toegepast, maar bijvoorbeeld koolstofvezel zou ook in aanmerking kunnen komen als las susceptoor.

Conclusie

De haalbaarheid van de productie van modulaire TPC luikgoten lijkt redelijk. Het vormen van de bochtstukken is enkel nog een deel wat verder onderzocht moet worden.

Het verbinden doormiddel van een lasproces is een goede manier om de delen te verbinden. Met de ontwikkeling van de juiste lasmal, zou in een aanzienlijk korte tijd een luik kunnen worden geassembleerd, het lasproces zelf is een kwestie van seconden. Tijdens het onderzoek is gebleken dat met laagdrempelige apparatuur, redelijk goede verbindingen kunnen worden gecreëerd.



FIGUUR 8 – PROTOTYPES EN DUBBELZIJDIGE ALUMINIUM MATRIJS

De productiekosten TPC luikgoot zijn geschat op de onderstaande waardes. Hierbij is uitgegaan van een laminaat van 4mm dik.

- Carbon + glas: €1084,80
- Full carbon: €1704,80

De toolingkosten zijn geschat op een totaal van €11050

4.11 Rondal



Partner:

RONDAL

Rondal

Bedrijfstak:

Luxe jachtbouw

Locatie:

Vollenhoven

TOEPASSING VAN TPC IN DE LUXE JACHTBOUW MET HOGE EISEN AAN LICHTGEWICHT EN KLIMAATINVLOEDEN

Ontwerp van een blokkatrol uit TPC

Bij moderne superjachten speelt snelheid een steeds grotere rol; het gewicht van het jacht heeft hier een groot effect op. Veel van de moderne jachten zijn al geconstrueerd uit lichtgewicht materialen, echter een groot aantal componenten aan boord wordt nog steeds uit staal gefabriceerd. Om de grote zeilen te kunnen hijsen en spannen zijn blokken nodig. Het fabriceren van deze blokken uit vezel versterkte kunststof kan naast gewichtswinst ook een visueel aantrekkelijke oplossing bieden. Thermoplastisch composiet (TPC) is potentieel interessant om het productieproces te versnellen en de impact eigenschappen van het blok verbeteren.

Onderzoek door: Erwin Teunissen

Probleemstelling

Een blok (katrol) wordt tijdens de vaart blootgesteld aan hoge krachten die de wind op het zeil uitoefent. De huidige blokken die Rondal produceert zijn gemaakt van roestvast staal (RVS), zie figuur 1.



FIGUUR 1 - RVS BLOK

Het RVS blok dat gebruikt is als model voor deze studie heeft een gewicht van 4 kg en is geschikt voor een maximale werklust van 196 kN, wat een breeklast van 396 kN betekent.

Composietmaterialen zijn niet nieuw voor de jachtbouw; een bekend voorbeeld zijn de rompen van de jachten die gebruikt worden voor de Volvo's Ocean Race. In de high-end markt wordt voornamelijk gewerkt met carbon/ epoxy prepregs, een methode waarbij de epoxy hars en carbon (koolstof) vezels bij de leverancier al gecombineerd worden. Dit betekent dat composiet producten met een hoge kwaliteit en laag gewicht gemaakt kunnen worden: de specifieke stijfheid en sterkte van carbon versterkte kunststof zijn vele malen hoger dan van staal.

Huidige situatie

Het huidige RVS blok bestaat uit vijf delen – de schijf, as, blokwangen en lagers. Rondal produceert ongeveer 10 van deze blokken per jaar.

Onderzoeksopzet

Het materiaal en het herontwerp moet, vergeleken met het conventionele ontwerp, gelijkwaardig of beter presteren. Uitdagingen zijn:

- Het opvangen van de spanningsconcentratie rond de assen.
- Productie met TPC van een beperkte oplage.
- Warmteontwikkeling van het lager.

Er wordt geconstrueerd op een gelijke minimale bezwijkbelasting. Voor het prototype is gekozen voor een kleiner model met een bezwijklast van 98 kN, aangezien dit in eerste instantie haalbaarder was met een nieuw materiaal en een nieuwe productiemethode.

Hierbij wordt onderzoek gedaan naar de toepassing van plaatselijke versterking met unidirectionele vezelversterkte tape.

Gebruikerseis	Minimale waarde
Minimale bezwijklast	196 kN
Maximale gebruikslast	98 kN
Klimaat	R.T. / 89°C in lager

Naast de bezwijklast is de enige andere voorwaarde dat het blok de temperatuur kan weerstaan die ontstaat door weerstand in het lager, welke berekend is op 89°C.

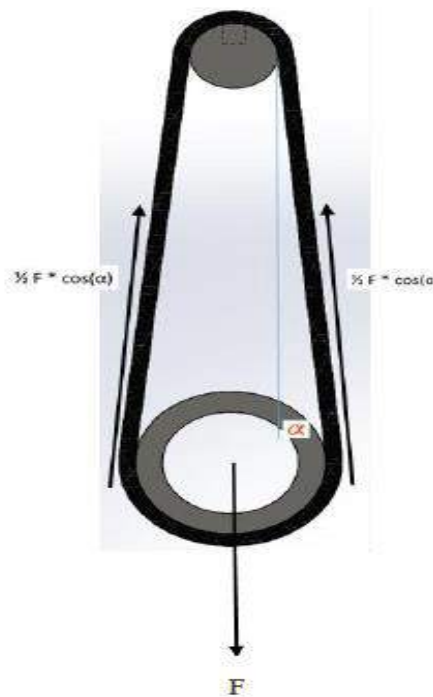
Conceptgeneratie

Gedurende het ontwerpproces zijn vier verschillende concepten gegenereerd. Voor het ontwerp met een ander materiaal bleek het belangrijk om terug te gaan naar basisprincipes en heel duidelijk te kijken naar hoe de krachtsoverbrenging zo ideaal mogelijk gerealiseerd kan worden. Dit betekent dat van een initieel ontwerp, wat niet meer is dan het stalen ontwerp uit TPC, door ontwikkeld is naar een ontwerp dat fundamenteel anders is dan het huidige stalen ontwerp. In het uiteindelijke ontwerp is afgestapt van dragende wangen met een gelast oog, en is in plaats daarvan gekozen voor een constructie met dragende lussen die de kracht direct van as naar as leiden.



FIGUUR 2 – ONTWERPEN 1 EN 4

Omdat in dit ontwerp alle krachten doorgeleid worden door een vezel versterkte lus, zou de maximale bezwijklast in theorie beter voorspelbaar moeten zijn. Figuur 3 laat zien hoe de geïntroduceerde kracht ontbonden wordt in twee componenten. Wat in dit ontwerp wel direct opvalt is dat de radii van de ophangpunten van belang is, aangezien dit een spanningsconcentratie in het TPC teweegbrengt; een grotere radius zal minder piekspanning veroorzaken, maar maakt het ontwerp ook groter en logger. Hier zal dus een optimum gevonden moeten worden.



FIGUUR 3 – KRACHTEN DOORLEIDING

Materiaal selectie

Vezels

Voor dit product is een keuze gemaakt tussen koolstof, aramide en glas vezel. De uitstraling van koolstof past goed bij het high-end imago dat Rondal wil bereiken, daarnaast heeft het een hogere specifieke sterkte en stijfheid dan glas. De kosten van glas liggen significant lager dan de andere opties, maar hier staan lagere specifieke eigenschappen tegenover. De matige bestendigheid tegen UV straling van Aramide betekent dat dit materiaal nog externe bescherming nodig heeft en maakt het minder geschikt voor deze toepassing. Op basis van deze afweging is in dit geval voor koolstofvezel gekozen.

Matrix

Voor de matrix zijn de volgende eigenschappen van belang:

- Vochtopname.
- UV Stabiliteit.
- Temperatuurbestendigheid.

Een groot aantal thermoplastische polymeren is gescreend op de benodigde eisen en uiteindelijk is de keuze gevallen op PPS, vanwege de:

- Lage vochtopname van 0,05-0,07%.
- Maximale gebruikstemperatuur van 220°C.
- Goede UV stabiliteit zonder toevoeging additieven.
- Uitstekende resistentie tegen zeewater (inclusief chloorzouten).

Gekozen materiaal

Met inachtneming van de bovenstaande afwegingen is gekozen voor Koolstof (AS4) / PPS van TenCate: CETEX-TC1100_DS_073013. Dit materiaal heeft een breedte van 14,93 mm, een dikte van 0,14 mm. De treksterkte, modulus en breukrek zijn bepaald op respectievelijk 1853 MPa, 111 GPa en 1.6%.

Testopstelling

Aangezien het krachtenverloop is zoals aangegeven in figuur 3, is er voor gekozen om de lus in eerste instantie los te testen van het complete blok.

Productie proefstukken

De proefstukken zijn gemaakt door de tape om een mal te wikkelen met de juiste diameter en afstand tussen de assen. In eerste instantie zijn deze proefstukken aan één zijde geconsolideerd door een aluminiumklem te verhitten met een hittepistool.

Een tweede serie producten is op dezelfde manier geproduceerd, maar met hogere temperatuur van de aluminiumklem om zo een betere lokale consolidatie te verkrijgen.

De derde serie is over de volledige omtrek geconsolideerd door de tape tijdens het wikkelen te verhitten. Hier moet echter direct bij opgemerkt worden dat er geen externe druk gebruikt is om de lagen op elkaar te persen, dit zal er in de praktijk uiteraard voor zorgen dat de consolidatie niet volledig is.

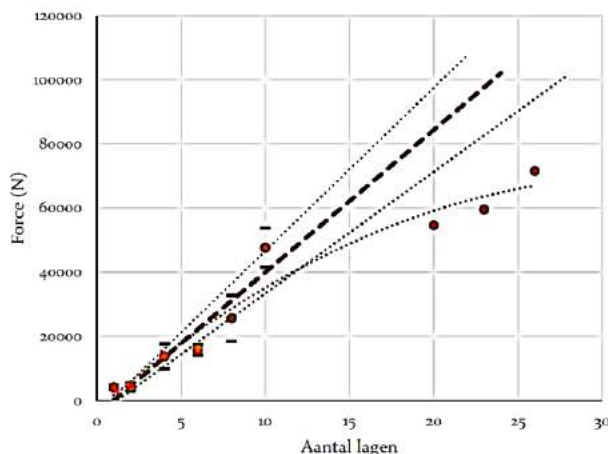
De vierde en laatste serie is geproduceerd op dezelfde methode als de derde serie alleen met grotere as diameters.

Trekproef

De trekproeven zijn uitgevoerd op een Zwick 250 kN trekbank. Hierbij wordt een testsnelheid van 2mm/min gebruikt en getest tot falen.

Resultaten en discussie

Serie 1 en 2 bleken te falen op de matige verbinding en haalden hierdoor niet de beoogde treksterkte. Hiernaast blijkt dat de sterkte niet evenredig toeneemt met de hoeveelheid lagen tape (figuur 4). Dit heeft waarschijnlijk te maken met de relatief grote dikte van de lus, waardoor de binnenste vezels relatief veel meer belast worden dan de buitenste en hierdoor relatief eerder schade zal optreden. Mogelijk zou dit effect bij bredere tapes, in welk geval minder dikte nodig is, minder naar voren moeten komen.



FIGUUR 4 - VERLOOP TREKSTERKTE ALS FUNCTIE VAN AANTAL LAGEN

De proefstukken gemaakt in serie 3 presteren slechts marginaal beter dan de eerdere series. Dit is voornamelijk te wijten aan de matige consolidatie. Door deze matige consolidatie worden nog steeds de binnenste lagen meer belast dan de buitenste. Ten tijde van deze proef is ook een volledig geconsolideerde epoxy verstevigde lus getest en deze bleek een veel hogere kracht aan te kunnen (buiten bereik testbank), wat aangeeft dat de consolidatie van de TPC in deze applicatie kritiek maakt.

Serie 4 is toegevoegd om het effect van de radius te bepalen. Wanneer de kleine radius in serie 4 vergroot wordt zodat twee dezelfde radii ontstaan, blijkt dat de sterkte met 30% toeneemt. Dit geeft meteen aan dat de spanningsconcentratie rond de as van groot belang is voor de prestatie.

Test volledig blok

Als validatie van de voorgaande testen op componentniveau is een volledig blok geproduceerd en deze is in zijn geheel op trek belast, overeenkomstig de testmethode die Rondal voor de eigen blokken gebruikt. Dit eerste prototype, met lussen uit serie 3, bleek te bezwijken bij 70 kN, wat dus minder was dan de gestelde eis. Het is echter wel een teken dat met verder ontwikkelingswerk de eis binnen bereik ligt.

Mogelijke optimalisatie

Uit het voorgaande is duidelijk dat de matige consolidatie die bereikt wordt door de TPC tapes te verwerken met de voorhanden zijnde apparatuur significante negatieve invloed heeft op de mechanische prestaties. Een voor de hand liggende optimalisatie is het produceren van dit soort constructies in een gecontroleerd proces, hierbij kan gedacht worden aan tape laying, persen of productie in een autoclaaf. Al deze processen bieden een uitgebreide beheersing van toegepaste druk en temperatuur.

Daarnaast kan het product verder door ontwikkeld worden en moet in het bijzonder gekeken worden naar de gebruikte radii van de assen. Wellicht is het mogelijk om holle assen van een grotere diameter toe te passen, om op deze manier een lagere spanningspiek in de lus te bewerkstelligen, terwijl het gewicht laag blijft.

Conclusie

Met de gebruikte laagdrempelige productie technieken is het zeer moeilijk om voldoende consolidatie te bereiken en daardoor de hoge mechanische eigenschappen te verkrijgen die nodig zijn voor dit product.

Binnen het project is duidelijk aangetoond dat een verandering van materiaal het nodig maakt om ook in detail te kijken naar het product ontwerp. De gepresenteerde oplossing is voornamelijk gekozen vanwege functionaliteit: het zo elementair doorlijden van de krachten. De vraag is echter of dit ontwerp aansluit bij de esthetische verwachtingen van Rondal's klanten.

TPC, en specifiek koolstof versterkte PPS, is een materiaal dat qua eigenschappen voldoende geschikt zou zijn voor een toepassing in dit blok. Echter, gelet op de kleine series en de benodigde investeringen om de productie van voldoende kwaliteit te laten zijn, maakt het gebruik van TPC waarschijnlijk commercieel onaantrekkelijk in dit geval.

4.12 Ten Cate



TOEPASSING VAN CETEX IN EEN LICHTGEWICHT TROLLEY

Partner:



Bedrijfstak:

Textieltechnologieconcern

Locatie:

Nijverdal

Overmoulding op thermoplastisch composiet

Sinds enige jaren is er een toenemende belangstelling voor het gebruik van composieten in massaproducten. Deze vraag komt o.a. vanuit de automobiel- en luchtvaartindustrie. Momenteel wordt er veel gebruik gemaakt van thermohardende composieten. Deze lenen zich echter minder goed voor snelle geautomatiseerde verwerkingsprocessen. Het toepassen van thermoplastische composieten (TPCs) biedt ook de mogelijkheid om bestaande productiemethoden te combineren. Zoals bijvoorbeeld thermovormen met spuitgieten. Is het echter mogelijk om een goede hechting te realiseren tussen een composiet en een spuitgietdeel en onder welke omstandigheden kan dit gerealiseerd worden?

Onderzoek door: Barry Burger en Koen Hermans

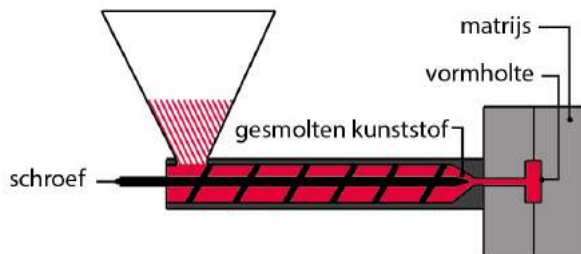
Inleiding

Grote kunststofafnemers zoals de automobielindustrie benutten composieten vanwege de hoge stijfheid en het lage gewicht. Aangezien het hierbij veelal over grote oplages gaat lijkt massaproductie een voor de hand liggende keuze. Een voordeel van thermoplastische composieten ten opzichte van thermohardende composieten is de mogelijkheid om door een combinatie van productieprocessen gecombineerde producten te vervaardigen. Eén van de mogelijkheden is om met behulp van spuitgieten een thermoplastisch kunststof aan composiet te verbinden. Spuitgieten is een productiemethode waarbij gesmolten kunststof door een schroef in de vormholte van een matrijs wordt geïnjecteerd (zie figuur 2). Wanneer het kunststofdeel afgekoeld is, wordt deze uit de matrijs gedrukt. Op dit moment zijn er twee technieken gangbaar; als kunststof aan een ander type kunststof wordt verbonden wordt de techniek 'overmoulding' genoemd, als kunststof om een ander materiaal wordt gespuitspuit, wordt het aangeduid met 'insertmoulding'. Deze technieken worden gebruikt bij de fabricage van o.a. schroevendraaiers waar een kunststof handvat met een metalen deel wordt gecombineerd of in het geval van een zogenaamde 'softgrip' waarbij twee kunststoffen worden verbonden (figuur 1).



FIGUUR 1 – OVERMOULDEN (GRIP) EN INSERTMOULDEN (HAREN)

Op een vergelijkbare wijze zou een thermoplastisch composiet in een spuitgietmatrijs geplaatst kunnen worden waarop vervolgens een thermoplastisch kunststof deel gespuitspuitgiet wordt. De twee componenten zullen dan na het verlaten van de matrijs één (deel)product vormen.



FIGUUR 2 - SPUITGIETEN

De toepasbaarheid van overmoulding hangt af van een goede hechting. De hechting moet ervoor zorgen dat de optredende krachten van één deel doorgegeven kunnen worden naar het andere deel.

Hechting is op een aantal manieren te bewerkstelligen. Dit kan op chemische wijze maar ook op mechanische wijze, waarbij een deel verankerd wordt aan een ander deel. Echter de minst bewerkelijke manier om hechting te verkrijgen tussen deze kunststoffen is d.m.v. adhesie. Hierbij verstrengelen de molecuulketens van beide materialen onder de invloed van gunstige oppervlaktenspanning en smelteigenschappen.

Smelteigenschappen worden onder andere bepaald door de molmassa, ketenlengte en ketenflexibiliteit[1]. Met name de ketenflexibiliteit heeft een grote invloed op de hoogte van het glaspunt (T_g) of een eventueel smeltpunt (T_m). Zodra een opwarmende kunststof het glaspunt passeert zal het via een rubberachtige toestand overgaan in een vloeistof[2]. Wanneer een kunststof zich boven de T_g bevindt worden de molecuulketens bewegelijk. Om versmelten door middel van verstrengeling tussen twee kunststoffen te realiseren zullen deze zich dus beide boven hun glaspunt moeten bevinden. Vervolgens zal er een kracht nodig zijn om ook daadwerkelijk dit fenomeen tussen de kunststoffen te realiseren[3]. Deze kracht is nodig vanwege de hoge smeltviscositeit van kunststoffen. De kracht zou tijdens het spuitgieten kunnen worden gerealiseerd door afschuiving tijdens de injectie of druk door middel van de nadruk volgend op de injectie.

Het bedrijf TenCate is producent van het thermoplastisch composiet Cetex. TenCate levert al jaren composietmateriaal aan de luchtvaartindustrie. Om aan hun klanten te kunnen demonstreren dat Cetex geschikt is voor overmoulding is de vraag gekomen om een technology demonstrator te produceren.

Deze case beschrijft het onderzoek naar geschikte en relevante spuitgietparameters waarna een technology demonstrator ontworpen is die het principe van overmoulding duidelijk kan maken.

Materialen en methode

De gebruikte spuitgietmachine is een Boy XS 100-14 (100 kN). Door gebruik te maken van een wisselmatrijs was het mogelijk om efficiënt verschillende matrijsontwerpen uit te testen. De Boy XS bevat geen hot runners.

Om de hechting tussen het composiet en het spuitgietdeel te meten is ervoor gekozen om een trekstaaf te produceren door middel van overmoulding en vervolgens een trekproef uit te voeren. De sterkte van de hechting is gemeten met behulp van een Testometric M500-100CT trekbank. De geproduceerde proefstukken bestonden uit een composiet plaatje (insert) met een dikte van 1 mm en een gespuitspuitgiet kunststofdeel met een dikte van 3 mm

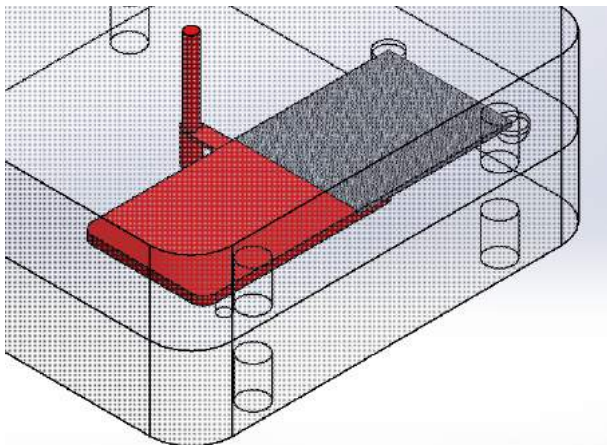
(zie figuur 3). De oppervlakte van de overlap van het spuitgietdeel aan het composiet was bij PA-6 150 mm² en bij PC 60 mm².

De volgende spuitgietparameters zijn onderzocht; temperatuur, nadruk en injectiesnelheid (afschuiving).

De volgende keuzes zijn gemaakt in dit onderzoek:

1. Om allerlei hechtingsproblematiek tussen verschillende materialen te voorkomen wat het onderzoek naar de spuitgietparameters kan vertroebelen, is er voor gekozen om hetzelfde soort materiaal te gebruiken voor het spuitgiet deel als het composiet deel.
2. Er is gekozen voor een amorse materiaalcombinatie (PC) en een semi-kristallijne materiaalcombinatie (PA-6) om te zien of die verschillen in hechtingsgedrag laten zien.
3. Om machine-technische redenen is voor ongevlude spuitgietbare kunststoffen gekozen, dit wil zeggen dat deze geen vezels of vulmiddelen bevatten. Consequentie hiervan is wel dat de kunststof meer thermische krimp zal hebben dan het hooggevlude composiet.

Er zijn een tweetal kunststof-composiet combinaties onderzocht, Polycarbonaat (PC) met een PC-glas composiet en Polyamide-6 (PA-6) met een PA-6-glas composiet. De PC die voor het spuitgieten is gebruikt is Lexan 925a (Sabic). Dit materiaal is gekozen vanwege de spuitgietbaarheid en was nagenoeg identiek (o.a. brandvertragend) aan het PC dat gebruikt is in de composiet. Het te spuitgieten PA-6 was exact hetzelfde materiaal als het PA-6 van de composiet. Dit materiaal is nog in ontwikkeling maar vertoont gelijkenissen met Ultramid B3S (BASF). De gebruikte composiet delen zijn; TenCate Cetex TC925 FST Polycarbonate (PC) en TenCate Cetex TC910 Nylon 6.



FIGUUR 3 - MATRIJS EN PROEFSTUK

De insert van TPC wordt bij een open matrijs ingebracht in de uitsparing waar het zich verankert door een nauwkeurige breedtepassing. De inserts zijn met behulp van een heteluchtpistool verwarmd waarbij het verwarmen plaatsvindt nadat de insert in de matrijs is geplaatst. Met een infrarood thermometer wordt de oppervlaktetemperatuur van de inserts waargenomen.

Tijdens de uitvoering van dit onderzoek is de invloed van temperatuur getest aan de hand van de inserttemperatuur. Deze heeft namelijk nauwelijks invloed op de cyclustijd in tegenstelling tot een hogere smelttemperatuur en matrijstemperatuur die voor een langere koeltijd zouden zorgen. De invloed van de afschuiving is getest door de inspuitsnelheid te variëren.

	PA-6	PC
Materiaal drogen	16 uur op 80°C	4 uur op 120 °C
Cilinder temperatuur zone 1 (°C)	250	285
Cilinder temperatuur zone 2 (°C)	260	297
Matrijs temperatuur(°C)	65	90
Nadruk hydraulisch (bar)	35	50
Nadruktijd (s)	7	5
Koeltijd (s)	25	20
Stuwdruk hydraulisch (bar)	6	6
Inspuitsnelheid (mm/s)	40	60

TABEL 1 - SPUITGIETPARAMETERS

De te spuitgieten kunststoffen zijn voor het gebruik gedroogd, de composieten inserts niet. De gebruikte spuitgietsparameters staan vermeld in tabel 1. De inserts zijn op maat geknipt en hebben geen voorbehandeling ondergaan.

De proefstukken zijn getest door middel van een trekproef. De uitvoering van deze proef resulteerde behalve trekkracht ook in een moment op het proefstuk (zie figuur 4). Het hechtvlak heeft daardoor ook een pelkracht te verduren gekregen. De belasting waarbij de proefstukken bezwaken is daarom als kracht (N) weergegeven. De trekproeven zijn uitgevoerd met een snelheid van 10 mm/min. Hierna zijn de breukvlakken geïnspecteerd.

Tenslotte zijn er een tweetal technology demonstrators ontworpen en geproduceerd.



FIGUUR 4 – UITVOERING TREKPROEF

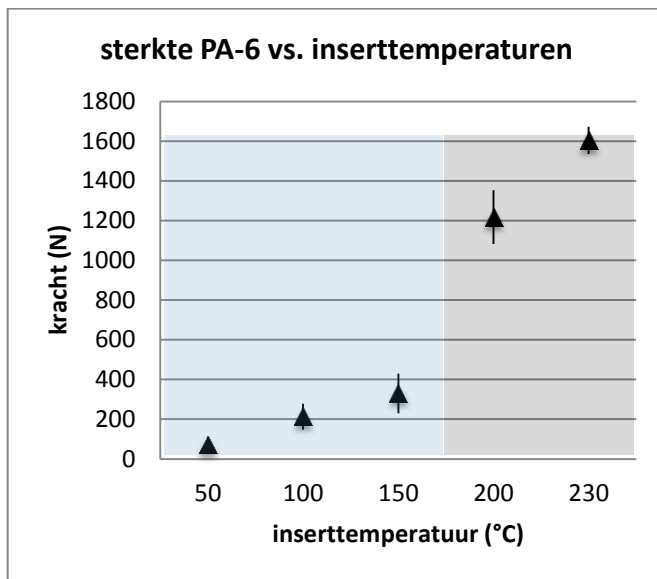
Resultaten

De invloed van de nadruk kon tijdens het spuitgieten nauwelijks getest worden. Het bleek niet goed mogelijk om substantieel met de nadruk te variëren; een lagere nadruk zorgde voor een product met erg veel inval. Een hogere nadruk maakte het onmogelijk om consequent lossende proefstukken te spuitgieten.

Inserttemperatuur

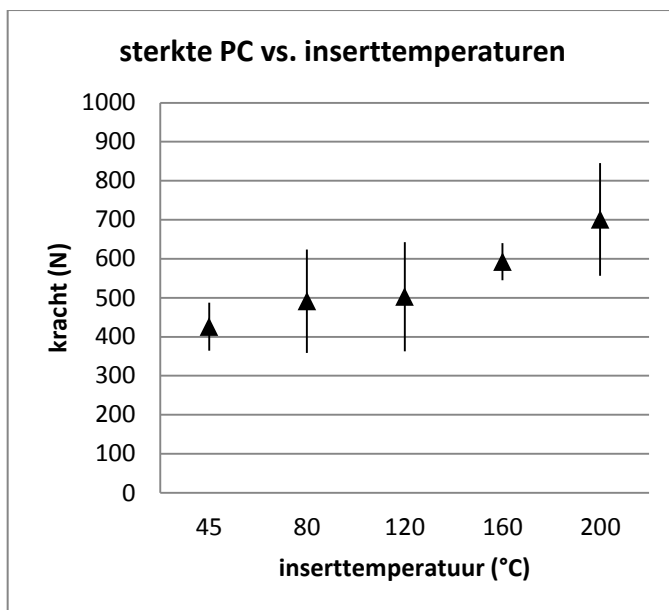
Uit de trekproeven blijkt dat de inserttemperatuur bij het semi-kristallijne PA-6 duidelijk invloed heeft op de hechting (zie figuur 5). De resultaten zijn het gemiddelde van vijf metingen.

Een verhoging van de inserttemperatuur zorgt voor een hogere sterkte van het proefstuk. Er is sprake van een omslagpunt tussen de 150 °C en 200 °C. De sterkte neemt in de overgang van blauw naar grijs veel meer toe (> 800 N) dan tussen de andere temperaturen (maximaal 386 N gemeten tussen 200 °C en 230 °C).



FIGUUR 5 - STERKTE HECHTING PA BIJ VERSCHILLENDE INSERTTEMPERATUREN, DE FOUTBALKEN GEVEN DE STANDAARDAFWIJKING WEER.

Het glaspunt en het smeltpunt van de PA-6 is volgens de fabrikant 60 °C en 222 °C. Het blijkt dat een benadering van de smelttemperatuur in grotere mate bijdraagt aan de hechting dan een overschrijding van het glaspunt.



FIGUUR 6 - STERKTE HECHTING PC BIJ VERSCHILLENDE INSPUITSNELHEDEN, DE FOUTBALKEN GEVEN DE STANDAARDAFWIJKING WEER

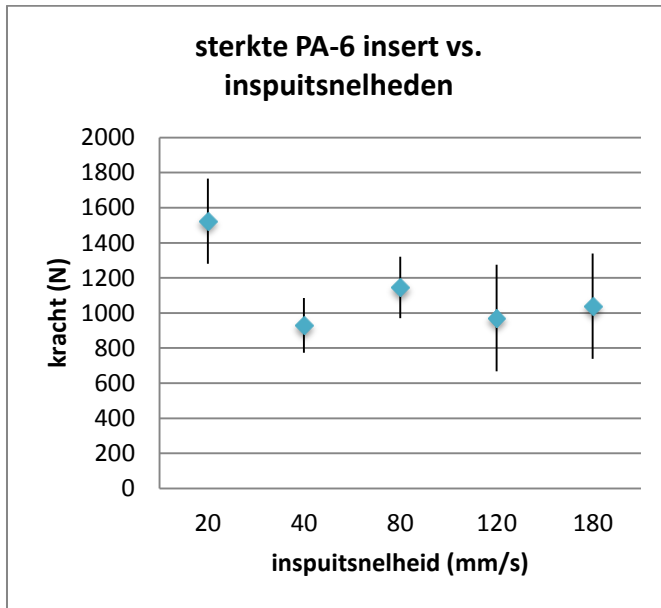
Bij het amorphe PC is ook sprake van een toenemende sterkte bij een verhoging van de inserttemperatuur. Er is echter geen duidelijk omslagpunt te benoemen (zie figuur 6).

Een mogelijke reden voor het verschil in hechtingsgedrag tussen beide kunststoffen is dat PA-6 een semi-kristallijne kunststof is en PC amorf. Bij de semi-kristallijne kunststof lijkt het nodig om de inserts te verwarmen tot het smeltpunt en niet slechts tot het glaspunt. Bij het amorphe PC wordt al hechting geconstateerd wanneer de insert zich bij het sluiten van de matrijs nog onder de glaspunttemperatuur (T_g 153 °C) bevindt. In beide gevallen treedt er al hechting op terwijl de inserttemperatuur zich onder het smelt- of glaspunt bevindt. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de hete kunststof waarmee het composiet deel in aanraking komt en de relatief lagere soortelijke warmte van

het amorphe PC. Hierdoor komt de oppervlaktetemperatuur van de insert tijdens het spuitgietproces toch boven het glas- of smeltpunt.

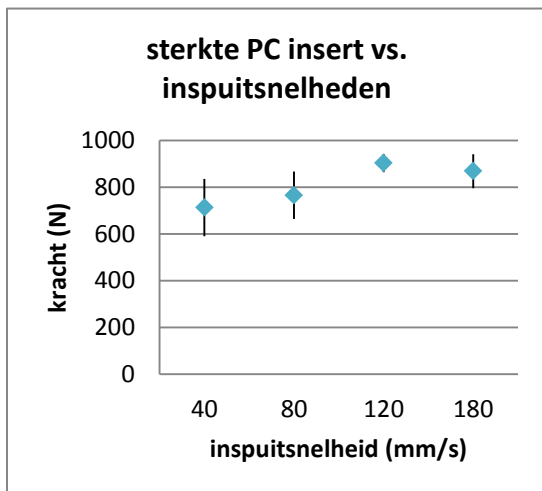
Inspuitsnelheid

Omdat PA-6 bij hogere temperaturen betere hechting vertoonde is ervoor gekozen om de experimenten op het gebied van inspuitsnelheid met een inserttemperatuur van 230 °C uit te voeren. In figuur 7 en 8 worden de resultaten van proefstukken die met verschillende inspuitsnelheden zijn vervaardigd, getoond. De resultaten zijn het gemiddelde van vijf metingen.



FIGUUR 7 - STERKTE HECHTING PA BIJ VERSCHILLENDE INSPUITSNELHEDEN, DE FOUTBALKEN GEVEN DE STANDAARDAFWIJKING WEER

Uit de proeven blijkt dat de hechting van de PA-6 en PC proefstukken nauwelijks verandert wanneer de inspuitsnelheid 40 mm/s of sneller is. Een inspuitsnelheid van 40 mm/s voor een proefstuk met een volume van 4010 mm³ komt overeen met een injectietijd van ongeveer 0,8 seconden. Het lijkt erop dat onder de gebruikte omstandigheden een inspuitsnelheid van 40 mm/s voldoende is om het spuitgietdeel op de inserts te laten hechten.



FIGUUR 8 - STERKTE HECHTING PC BIJ VERSCHILLENDE INSPUITSNELHEDEN, DE FOUTBALKEN GEVEN DE STANDAARDAFWIJKING WEER

Bij PC was het niet mogelijk om proefstukken te vervaardigen met een inspuitnelheid van 20 mm/s. Bij de hoogste inspuitnelheid (180 mm/s of 0,2s) was er jetting zichtbaar op de PC proefstaven.

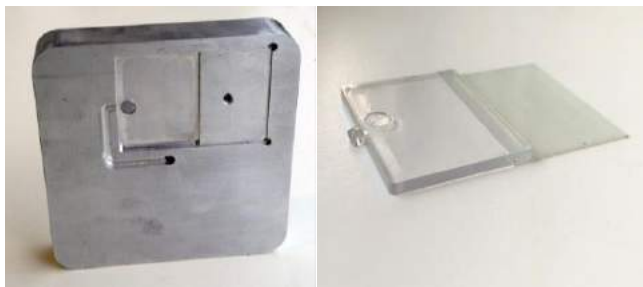
Inspectie breukvlakken

Nadat er duidelijke verschillen geconstateerd zijn in de sterkte van de PA-6 en PC proefstukken bij verschillende inserttemperaturen zijn de breukvlakken geïnspecteerd. Er bleek echter geen verschil in breukvlak zichtbaar bij de PC proefstukken. Bij alle breuken was sprake van een zogenaamde cohesiebreuk (zie figuur 9). Er is daarom gekozen om een tweede matrijsinsert te ontwerpen die een groter hechtoppervlak mogelijk maakt.



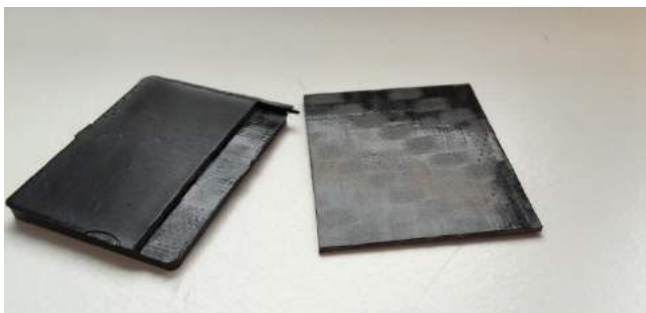
FIGUUR 9 - BREUKVLAKKEN

Bij de PC proefstukken werd het hechtoppervlak vergroot van 60 mm² naar 200 mm² en bij PA-6 van 150 mm² naar 280 mm². Om het mogelijk te maken om het hele hechtvlak vrijwel gelijktijdig aan te spuiten is het aanspuitpunt verlegd van de zijkant naar de onderkant van het proefstuk (figuur 10). De invloed hiervan is niet onderzocht.



FIGUUR 10 - MATRIJSINSERT EN PROEFSTUK T.B.V. INSPECTIE BREUKVLAKKEN

De inserts zijn verwarmd op 90, 120, 180, 210 en 240 °C. Er is voor hogere inserttemperaturen gekozen om te compenseren voor de langere weg die de gespuitsgietete kunststof moet afleggen voordat deze de inserts bereikt.



FIGUUR 11 - BREUKVLAK PA BIJ 90 TOT EN MET 210 °C

Er zijn drie soorten breuken geconstateerd. Het breukvlak van figuur 11 is representatief voor de PA-6 trekstaven die geproduceerd zijn met een inserttemperatuur van 90 °C tot en met 210 °C. Het composiet breekt van het spuitgietdeel, een adhesiebreuk.



FIGUUR 12 - BREUKVLAK PA BIJ 240 °C

De breuk van figuur 12 is representatief voor de breuk bij een inserttemperatuur van 240 °C, het grijze gebied in figuur 5. Hier is te zien dat de breuk optreedt in het spuitgietdeel. Het lijkt er dus op dat de hechting tussen de insert en het spuitgietdeel de sterkte van het spuitgietdeel overtreft.



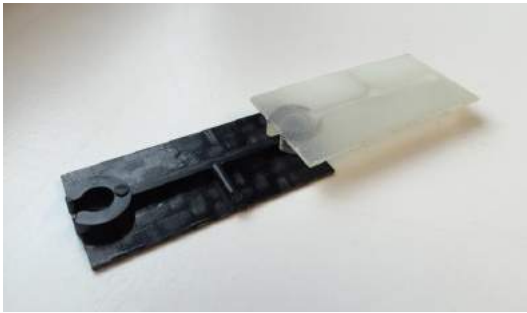
FIGUUR 13 - BREUKVLAKKEN PC

Wanneer de PC breukvlakken geïnspecteerd worden blijken er wederom twee soorten breuken te zijn ontstaan. Bij de lagere temperaturen worden breuken aan het hechtvlak waargenomen (cohesie). Bij de hogere temperaturen treedt er breuk op in het spuitgietdeel. Bij een inserttemperatuur van 210 °C waren beide soorten breuken waarneembaar (zie figuur 13). Pas wanneer de inserttemperatuur het glaspunt ver overschrijdt is er sprake van een hechting die de sterkte van het spuitgietdeel overtreft. Dit wordt bij de inspectie van de breukvlakken geconstateerd bij 210 °C en de 240 °C.

Technology demonstrator

Met de opgedane kennis zijn een tweetal technology demonstrators geproduceerd.

Er worden met deze ontwerpen drie dingen aangetoond, namelijk de mogelijkheid om een voelbaar sterke verbinding te creëren tussen TPC en een spuitgietdeel, het spuitgieten van rib-achtige producten op TPC en de mogelijkheid om een passingsdeel te spuitgieten op TPC. De resultaten staan afgebeeld in figuur 14 en 15.



FIGUUR 14 - TECHNOLOGY DEMONSTRATOR MET PASSING

Conclusie

In dit onderzoek is getracht een thermoplastische kunststof door middel van overmoulden aan een thermoplastisch composiet te verbinden.

Uit de uitgevoerde trekproeven blijkt dat het mogelijk is om zowel bij PA-6 als bij PC een hechting te verkrijgen tussen het spuitgietdeel en het composieten deel. Dit blijkt niet enkel uit de kracht die nodig is om de proefstaven de breken maar ook bij inspectie van de breukvlakken. Daarbij blijkt dat het PA-6 hechting vertoont bij een inserttemperatuur van 240 °C. Deze temperatuur ligt boven de smelttemperatuur van het materiaal (222 °C). Het amorfe PC hecht al zichtbaar bij een inserttemperatuur van 90 °C, terwijl het glaspunt op 153 °C ligt. Hierbij kan de sterkte van het spuitgietdeel overtroffen worden wanneer de insert wordt verwarmd tot 240 °C. Er dus een duidelijk verschil in hechtingstemperatuur waargenomen. Mogelijk is dit toe te schrijven aan het verschil aan de kristalliniteit tussen PA-6 en PC. Het PA-6 is semi-kristallijn en het PC amorf.

Uit dit onderzoek blijkt de inserttemperatuur meer effect te hebben op de hechting dan de inspuitingsnelheid. De geteste inspuitingsnelheden zorgden, bij een inserttemperatuur van 230 °C, allen voor hechting. Bij PA-6 werd dit verwezenlijkt vanaf een injectiesnelheid van 20 mm/s (injectietijd ongeveer 1,5 s) en bij PC vanaf een injectiesnelheid van 40 mm/s (injectietijd ongeveer 0,8 s).

Ten slotte is er een tweetal technology demonstrators geproduceerd waarmee de verbinding tussen TPC en spuitgietdeel aangetoond is en waar ook een passing mee gedemonstreerd wordt.



FIGUUR 15 - TECHNOLOGY DEMONSTRATOR

Referenties

- [1] Polymeren van keten tot kunststof
- [2] Applied plastics engineering handbook
- [3] Handbook of plastic joining: A practical guide

4.13 Veldink



Partner:

Veldink4kids no limits
Bedrijfstak:
kinderrolstoelen
Werknemers:
30
Locatie:
Nieuw Buinen

TOEPASSING VAN TPC IN ROLSTOELN ALS CONSTRUCTIEONDERDEEL (ZIJSCHILD) EN RUGGENSTEUN OP HET GEBIED VAN STERKTE, VERWERKBAARHEID AANPASSING OP ERGONOMIE

Ontwerp van en zijschild en ruggensteun uit TPC

Veldink4Kids is een bedrijf dat zich heeft gespecialiseerd in het ontwerpen en produceren van kinderrolstoelen waarbij de wensen en eisen van kinderen en hun ouders en/of verzorgers altijd centraal staan. Dit betekent dat de rolstoelen aangepast worden aan het kind. De rolstoelen van Veldink4Kids voldoen uitstekend maar zijn zwaar ten opzichte van de concurrent. Uit dit onderzoek is gebleken dat door de zijschilden zie figuur 1, in TPC uit te voeren een kleine gewichtsbesparing mogelijk is. Het is mogelijk om het zijschild door middel van thermovormen met dubbele mal produceren. Voor het gatenpatroon is een extra productiestap, het warmdrukken, de beste methode omdat hierdoor sterkte wordt verkregen door de conische verstijving. Het aanpassen van de ruggensteun, zie figuur 2, ter plekke is praktisch niet goed uitvoerbaar. De verwerkingstemperatuur is te hoog en er moet met een mal gewerkt worden voor een goed resultaat.

Onderzoek zijschild door: Rolf Ed Frolijk, Gerco de Bie en Jorick Gillis

Onderzoek ruggensteun door: Niels Baan, Thijs ter Maat en Dimphy Roodbergen



FIGUUR 1 - HET ZIJSCHILD



FIGUUR 2 - ROLSTOEL MET RUGGENSTEUN UIT ALUMINIUM

Probleemstelling

Hoe kunnen de prestaties van de persoonsgebonden kinderrolstoelen van Veldink4Kids verbeterd worden door toepassing van Thermoplastische Composieten?

De belangrijkste prestaties (eisen) die voor Veldink4Kids verbeterd kunnen worden zijn:

- Gewichtsbesparing.
- Het terplekke aanpassen van rugleuningen, steunen en ortheses op het kind.

Ook speelt het design een steeds belangrijkere rol door voorbeelden in de topsport waar al veel met composieten wordt gewerkt.

Huidige situatie

De aluminium rolstoel weegt op dit moment 15 kg en is zwaar ten opzichte van de concurrent. Profielen en plaatmateriaal wordt gezet en aan elkaar gelast of gebout. Kinderen groeien en daarom moet de rugleuning regelmatig aangepast worden. Dit gebeurt veelal in de werkplaats in plaats van ter plekke bij de klant.

Uitdagingen binnen het huidige ontwerp zijn:

- Gewichtsbesparing bij gelijkblijvende sterkte.
- Integratie van onderdelen in het productieproces zoals bevestigingsgaten in het materiaal.
- Het vervormen van het materiaal door het thermisch plastisch te maken en weer af te laten koelen.

Onderzoeksopzet

Het zijschild is als onderdeel gekozen om de eerste twee uitdagingen te onderzoeken. Het zijschild moet de kracht van de zitting naar het frame geleiden. De zitting is door een gatenpatroon in het zijschild te verstellen. Daarnaast is het zijschild dubbel gekromd wat de productiemogelijkheden beperkt.

Voor de laatste uitdaging is onderzoek gedaan naar het ter plekke plastisch vervormen van de ruggensteun waardoor de rolstoel niet meer terug naar de werkplaats hoeft.

Gebruikerseis	Minimale waarde
Belasting	Max. 80 kg
Integratie gaten zijschild	68 stuks
Procestemperatuur ruggenleuning	190 °C
Ontwerpeisen	Veiligheidsfactor=2

TABEL 1 - GEBRUIKERSEISEN

Materiaal selectie

TPC is verkrijgbaar met verschillende vezels en met verschillende matrix materialen, die elk hun voordelen en nadelen hebben. Voor beide applicaties (het zijschild en de ruggensteun) is het volgende materiaal gekozen van Bond Laminates: TEPEX® dynalite 104-RG600(x)/47% Roving Glass-PP Consolidated Composite Laminate met een dikte van 0,5 mm.

Glasvezel/ twill

Motivering

- Goed verkrijgbaar,
- Goed vervormbaar door Twill-weefsel,
- Lage kostprijs ten opzichte van carbon,
- Stijfheid is ondergeschikt aan de treksterkte.

PP

Motivering

- Lage smelttemperatuur (163 °C), dus meer geschikt om op locatie te vervormen,
- Chemisch resistent

Ruggensteun

De ruggensteun heeft als functie support te bieden aan de rug van het kind en is op dit moment vervaardigd uit aluminium. Voor het vervormen in TPC zijn twee concepten bedacht en onderzocht.

Concepten 1 tape

Het eerste concept is gebaseerd op de ruggensteun van Tarta, zie figuur 3. Dit aluminium frame bestaat uit een aantal armen die instelbaar zijn middels schroeven.



FIGUUR 3 - TARTA RUGGENSTEUN

Voor dit concept is ook gebruik gemaakt van PP in combinatie met glas maar nu in de vorm van UD-tape van Modified Materials. Deze tape bestaat uit 35% PP and 65% (UD) glas vezel. De armen bestaan nu uit aluminium (kern), omwikkeld met tape (schil), zie figuur 4 waardoor er geen schroeven meer nodig om de verschillende armen te vaststellen. Ook is er onderzoek gedaan naar een kern van polypropreen. Beide varianten zijn niet succesvol gebleken.



FIGUUR 4 - TAPE EN KERN

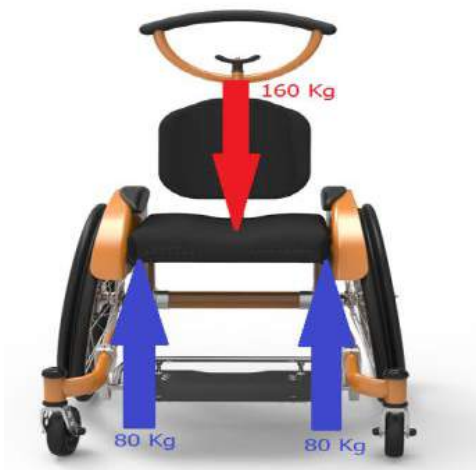
Concept 2 plaatmateriaal

Bij dit concept werd de leuning gevormd uit TEPEX plaatmateriaal wat na verwarming te vervormen is. Dit bleek in de praktijk lastiger dan in de theorie.

Voor het vervormen is gekeken of het plaatmateriaal, na verwarming (heatgun/ warmtedeken), eenvoudig te vervormen is doormiddel een stempel. Hier bleek dat de druk en de temperatuur van het materiaal moeilijk controleerbaar zijn.

Zijschild

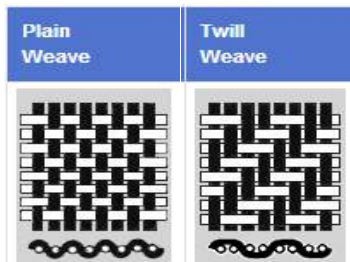
Het zijschild ondersteunt de zitting en is door een gatenpatroon in te stellen naar de stand van het lichaam van de cliënt.



FIGUUR 5 - ZIJSCHILD EN DE OPTREDENDE KRACHTEN

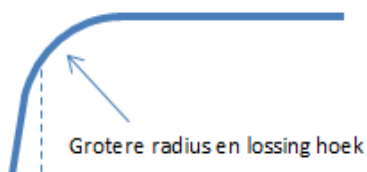
Vormen zijschild

TPC is moeilijker te vervormen dan niet vezel versterkte thermoplastische kunststoffen. Het weefsel van de vezels bepaalt bij vvk in grote mate hoeveel vervorming aangebracht kan worden.



FIGUUR 6 - WEEFSEL

De gekozen productiemethode voor het zijschild was thermovormen met een aluminium boven en ondermal. Voor een betere lossing moest de radius van het gezette deel vergroot worden en de hoek groter dan 90° gemaakt worden, zie figuur 7. Er zijn ook goedkopere productiemethodes voor kleinere aantallen onderzocht zoals vacuüm vormen al dan niet met een membraam, maar dat gaf te veel problemen bij dit product en leidde niet tot een goed resultaat.



FIGUUR 7 - ZETTING ZIJSCHILD, GEZETTE RAND

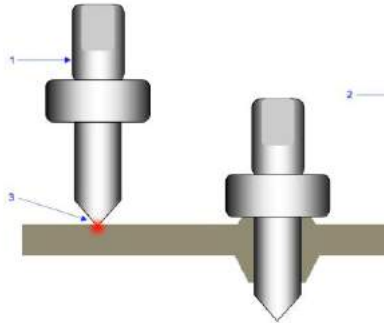
Gatenpatroon

De onderstaande mogelijkheden om de 68 gaten in het zijschild van TPC te maken zijn onderzocht [1]:

- Flowdrillen.
- Boren.
- Warmdrukken.

Daarbij is gekeken naar het verschil in de mechanische eigenschappen en of dit productietechnisch uitvoerbaar is.

Het genereren van gaten door middel van flowdrillen, zie figuur 8, bleek niet mogelijk met de beschikbare middelen. In de meeste gevallen bereikte het materiaal de smelttemperatuur niet en brokkelde of verbrandde. Wanneer de smelttemperatuur wel bereikt werd sloot het gat na verwijdering van de drill/ boorkop.

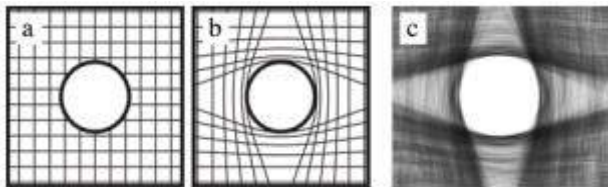


FIGUUR 8 – FLOWDRILLEN



FIGUUR 9 – GEBRUIKTE MAL VOOR WARM PERSEN

Boren en warmvormen zijn beide mogelijk. Het warmvormen bleek de beste methode bij meerdere gaten omdat hierbij de vezel niet wordt onderbroken. Zie figuur 10a, b en c.



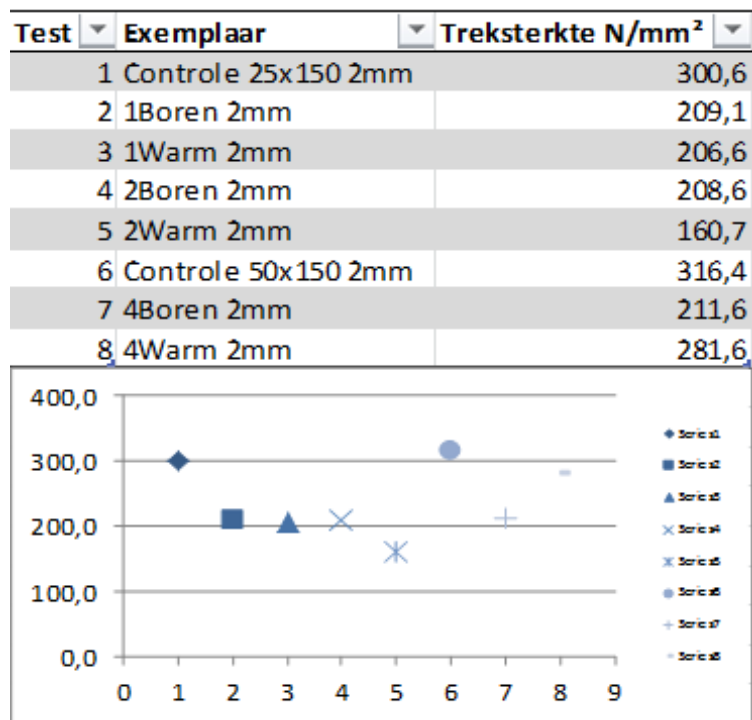
FIGUUR 10 A – BOREN, FIGUUR 10B – WARMVORMEN, FIGUUR 10C - RÖNTGEN FOTO GLAS PP WARM GEVORMD GAT [1]

Dit resulteerde in betere mechanische eigenschappen ten opzichte van boren, mede door de conische verstijving, zie figuur 11. Het warmvormen is echter moeilijk uit te voeren bij een groot aantal gaten waar de onderlinge afstand tussen de gaten gering is.



FIGUUR 11 - SAMPLE WARMGEVORMDE GATEN

Boren is productietechnisch eenvoudiger voor het zijschild en met relatief eenvoudige faciliteiten uitvoerbaar. Omdat het materiaal plastisch vervormbaar is, gaf dit bij een groot aantal gaten een grotere verzwakking dan warmvormen. Bij een klein aantal gaten is dit verschil niet zichtbaar, zie figuur 12. Uitgebreider statistisch onderzoek is hierbij een aanbeveling.



FIGUUR 12 - DATA TREKSTERKTE MPA SAMPLES DIKTE 2 MM

Conclusie

Voor deze toepassing is TPC te gebruiken als alternatief voor de huidige aluminium constructie, zie figuur 13. De voordelen van TPC zoals de gewichtsbesparing in dit specifieke geval bleken te gering terwijl de kosten (€ 25,- per product) een factor 2 hoger zijn. Uitgaande van een productieproces waarbij 2 mallen nodig zijn en een productieaantal van 1000 stuks op jaarbasis. Voor de ruggensteun is gebleken dat het niet mogelijk is om deze plaatselijk te verwarmen en vervolgens op een goede manier te vervormen.



FIGUUR 13 – ORIGINEEL ALUMINIUM ZIJSCHILD EN TPC ZIJSCHILDEN

Referenties

[1] Bolted Joints with Moulded Holes for Textile Thermoplastic Composites, Hufenbach, Guttwald, Kupfer, Techn University Dresden, Germany, 18th International conference on Composite Materials, Aug 2011

5 Conclusies



Uw Partner:

Windesheim
Lectoraat Kunststoftechnologie

Bedrijfstad:

Onderzoek naar kunststoffen en composiet

Totaal aantal werknemers:

14 FTE verdeeld over 21 personen

Locatie:

Zwolle

DE PROJECTPARTNERS BINNEN HET MKB PROJECT: TPC

Conclusies: Thermoplastisch Composiet

Terugkijkend op het project is er veel goed gegaan maar zijn er ook de nodige tegenslagen geweest. In sommige zaken zijn we naïef geweest. Zo hadden we gedacht dat het wiel van FastForward een eenvoudige startcase zou zijn omdat het zo plat was. Ondanks alle strubbelingen zijn andere deelprojecten daarentegen boven verwachting verlopen zoals bijvoorbeeld de buigbare buizen voor VABO/ICO. Hier in het kort de hoofdconclusies uit het totaalproject.

Onderzoek door: Margie Topp, Freek Noordhuis, Jasper Bouwmeester, Alexander Jansen, Koen Hermans, Pieter Schreuder, Peter-Bas Schelling

EMC

Eén van de verrassingen in het project was het feit dat koolstofvezel gebaseerd TPC zonder moeilijke additionele lagen voldoende afscherming van elektromagnetische straling bood. De mate van afscherming van aluminium wordt niet bereikt maar het lijkt wel afdoende voor de onderzochte toepassing, de airconditioning unit van Novek. Dit resultaat geeft de mogelijkheid om bij het ontwerp van dergelijke units meerdere functies te integreren door het gebruik van TPC.

Lassen

Lassen was binnen een aantal onderzoeken één van de leidende thema's. Er is veel gelast met tape, maar er is ook onderzoek gedaan naar lastechnieken zoals rotatie- en weerstandslas.

Door middel van lassen kan glasvezelversterkt tape van PP of PE gebruikt worden om vrij eenvoudig en goedkoop zwakke plekken te verstevigen. De versteviging hoeft enkel aangebracht te worden op de plaats waar deze nodig is. Voor een volledige consolidatie van de las is het hierbij noodzakelijk om een tweezijdig druksysteem te gebruiken. Zo zijn er hele simpele lasklemmen gebruikt in de Beutech case om PE-tape op PE-kokers aan te brengen. Dit lassyteem is later in het project, in de Rondal case van het dek-luik, gekopieerd om hechting te verwezenlijken tussen meerdere complexe vormen. Uiteindelijk is er zelfs PE-schuim op PE buizen gelast in de PCV case en zijn ook de proefstukken voor de Bolle en Modified Materials cases met lasklemmen geproduceerd.

Door de ontwikkelde lasklemmen kon gelijkmatig druk uitgeoefend worden over het hele te lassen oppervlak maar zo kon ook worden voorkomen dat het materiaal wegvloede.

Twee gevormde delen met elkaar te verbinden bleek verbazingwekkend simpel te gaan met weerstandslas. Door een geleidend gaasje tussen de te verbinden oppervlakken te plaatsen en hier vervolgens stroom door te laten lopen werden twee delen met elkaar versmolten in de Rondal dek-luik case. Het bleek ook mogelijk om de koolstofvezel mat die al in het laminaat aanwezig was te gebruiken om de stroom te geleiden.

De sterkte van de lasverbinding is onder andere afhankelijk van het matrixmateriaal en de gebruikte parameters. De vezels van de composiet delen worden niet met elkaar verbonden. Dit betekent dat, afhankelijk van het ontwerp, de opgenomen afschuifkracht of trekkracht gedomineerd kan worden door de sterkte van de matrix en niet van de vezels. Wanneer een las echter gebruikt wordt bij wikkeltechnieken kan deze er wel voor zorgen dat de krachten via de vezels overgedragen worden, zoals het geval was bij de ICO case of de katrol van Rondal.

Thermovormen

Binnen de industrie wordt als vuistregel aangehouden dat TPC interessant wordt voor een productie vanaf ongeveer 1000 stuks per jaar. Voor kleine series is het interessanter om het werk uit te besteden aan productielocaties die de benodigde apparatuur al hebben staan. Dit omdat over het algemeen hoge druk en temperatuur nodig is voor het verwerken van thermoplastisch composiet, zeker voor GMT thermoformables. Ter vergelijking: waar voor het verwerken van thermohardende 'Sheet Moulding Compounds' persen nodig zijn met krachten vanaf 100 ton en temperaturen tussen de 125 - 170°C, is voor het verwerken van GMT een kracht nodig vanaf 3500 ton en smelttemperaturen van ver boven de 170°C.

Daarnaast speelt de vervormbaarheid van de weefsels in GMT een rol. Thermovormen van onversterkte thermoplasten is een goed beheersbaar proces, zonder dat hierbij plooiën gaan ontstaan. Bij een vezelversterkt laminaat blijkt een dubbelzijdige matrijs en een pers nodig te zijn om een vergelijkbare vormverandering te bewerkstelligen.

Ter illustratie van de kosten: de dubbele aluminium proefmatrijs voor het wiel van FastForward kwamen uit op €2500. Het maken van aanpassingen is duurder bij een matrijs dan bij een mal voor thermohardend composiet. Bij deze laatste is het mogelijk om kleine aanpassingen te doen in tegenstelling tot veranderingen aan een matrijs die er al snel voor zorgen dat deze opnieuw gefreesd moet worden.

De mogelijkheid om thermoplastisch composiet te thermovormen draagt bij aan de automatiseringsmogelijkheden maar maken het moeilijker en duurder om prototypes of kleine oplages te verwezenlijken.

Re-shaping

Eén van de meest aantrekkelijke features van thermoplastisch composiet is natuurlijk het feit dat het door verwarmen weer dimensioneel aanpasbaar zou zijn. Re-shaping is in dit onderzoek onderzocht ten behoeve van individuele aanpassingen aan gepersonaliseerde producten.

Heel simpel is dat niet gebleken. De benodigde temperatuur en druk moesten erg nauwkeurig aangehouden worden om vormdelen aan te passen. Tevens was het, ook onder de juiste omstandigheden, lastig om de gewenste vervorming te bereiken. Dit resulteerde veelal in het gebruik van tweezijdige mallen. De techniek is daardoor niet voor iedere toepassing toegankelijk. Daarnaast moet een relatief groot oppervlak worden verwarmd om een kleine vervorming teweeg te kunnen brengen omdat anders de vezels niet mee willen scharen met de vervorming.

Uit de Veldink, OIM en VABO cases is wel gebleken dat re-shapen nauwelijks laagdrempelig toepasbaar is. Bij het re-shapen blijkt grotendeels dezelfde apparatuur benodigd te zijn die ook gebruikt wordt bij het thermovormen. In beide gevallen moeten de procesparameters goed beheersbaar en controleerbaar zijn. Een dubbele matrijs is een vereiste om plooiën te voorkomen en het voorkomt ook dat vezels bloot komen te liggen aan de buitenkant.

Overmoulding/ spuitgieten

Het proces van overmoulding bleek verrassend makkelijk haalbaar voor wie geld in (wissel)matrijzen kan investeren.

Tijdens presentaties over de TenCate case die het lectoraat heeft gehouden is er vanuit de industrie altijd veel respons gekomen.

Door de interesse van de industrie om te automatiseren is dit momenteel één van de grote trends binnen de composiet industrie – waarbij bijna wordt vergeten dat deze techniek al relatief oud is en dat grote machinebouwers als Boy of Engel al veel ervaring met dit proces hebben. Waar in het verleden voornamelijk werd gewerkt met metalen inserts, wordt nu composiet gebruikt.

Bij het spuitgieten zijn de procesparameters goed beheersbaar en controleerbaar. Met de juiste procescondities is het mogelijk om een goede versmelting van de kunststofoppervlakken te realiseren. Dit onderschrijft dat geautomatiseerde productie met TPCs goed mogelijk is.

Ontwerp in TPC

Wanneer TPC gebruikt wordt als vervanger van thermohardende composieten blijkt het grootste verschil te schuilen in de verwerkingsmethode. De mechanische eigenschappen zijn vergelijkbaar maar er is minder vormvrijheid. Dit blijkt vooral bij hoeken en bij dubbel gekromde vlakken. Heel specifiek hebben we dat ondervonden in het deelproject van de kokers van OIM en het dek-luik van Rondal. Het ontwerp van deze laatste matrijs is vele cycli doorgegaan. Alle ontworpen matrijzen waren lossend maar pas bij de derde poging werd een ontwerp gevonden waarbij het materiaal zich tijdens verwerking ook wilde vormen naar de matrijs. Vormen van meer dan 5 cm diep met opstaande randen zijn lastig te bereiken met thermovormen.

De verwerking van thermohardend composiet is relatief eenvoudig. De vezelversterking kan vooraf op maat gemaakt worden en tijdens het verwerken in alle hoekjes van het ontwerp gedruwd worden. Bij kleine oplagen heeft thermohardend composiet hierdoor een voordeel ten opzichte van thermoplastisch composiet.

Bij het ontwerp in TPC zal dan ook rekening gehouden moeten worden met de verwerkbaarheid van het materiaal.

Wanneer TPC wordt gebruikt als vervanger van staal of aluminium zijn er een aantal zaken waar rekening mee gehouden moet worden. Metalen zijn isotroop in tegenstelling tot composieten die anisotroop zijn. De sterkte en verwerkingsmogelijkheden van het composiet worden hoofdzakelijk bepaald door de richting van de vezel. Ook de verbindingstechnieken wijken af van wat gebruikelijk is bij metalen. Er dient bij het ontwerp rekening gehouden te worden met de sterkte van las- en boutverbindingen. Deze verbindingen beïnvloeden de uiteindelijke sterkte van het TPC-product terwijl las- en boutverbindingen bij metalen minimaal net zo sterk uitgevoerd kunnen worden als het metaal. Ook dubbelzijdig gekromde vlakken kunnen tot op zekere hoogte beter vermeden worden. In de cases van Veldink zijn aluminium delen met dubbel gekromde vlakken vervangen door TPC delen. Dit bleek haalbaar maar wel met de nodige aanpassingen aan een van de radii en een beperkte diepte.

Bij de case van de kartrol van Rondal is duidelijk aangetoond dat bij een verandering van materiaal het ook nodig is om in detail te kijken naar het productontwerp. Het vertalen van de functionaliteit van het originele product kan een heel ander ontwerp opleveren in TPC materiaal.

Alhoewel het met eenvoudige apparatuur lastig is om grote vormdelen uit TPC te maken, ligt het grote voordeel van thermoplastisch composiet in de mogelijkheid om modulair te ontwerpen. Modulaire delen kunnen met elkaar verbonden worden zonder lijmverbindingen (emissie) of bouten (gaten en dus onderbroken vezel waardoor krachtverlies optreedt). De manier waarop de militaire helm van Cato is geproduceerd is daar een voorbeeld van.

Overall conclusie

Uit een aantal cases blijkt dat het lastig is om thermoplastisch composiet in kleine series economisch verantwoord te vervaardigen. Maar waar liggen nu de snelle kansen voor TPC?

Spuitsieten met korte vezel thermoplast of lange vezel thermoplast is iets wat niet uitgebreid onderzocht is in dit project, maar het is één van de TPC segmenten die het meest volwassen is en relatief snel uit te breiden is binnen de industrie met de bestaande apparatuur.

Door de huidige opkomst van de goedkopere TPC materialen zoals bijvoorbeeld glasvezelversterkte PE en PP tapes, is er wel degelijk een grotere plek in de markt voor TPC weggelegd. Alleen al het feit dat er op de JEC in Parijs ineens gewikkelde PE-glas buizen met een doorsnede van 2m te vinden waren in een marktsegment van echte prijsvechters, geeft aan dat er segmenten zijn die over willen stappen naar TPC en die wegen zoeken om emissie- en chemicaliën vrij te werken. In dit specifieke geval werd de consolidatie bereikt door een roller van 15 kg op te stellen na een eenvoudige warmtebron. Thermoplasten scoren goed op chemische resistentie en worden al veelvuldig toegepast in buizen waardoor er in de industrie al veel kennis is over thermoplasten. Daarom wordt verwacht dat filament winding, maar eigenlijk buizen in het algemeen, het segment is waar de overstap het snelst gemaakt kan worden.

Ook het overmolden lijkt relatief eenvoudig haalbaar. Zonder al te veel problemen is dit te implementeren in de bestaande productietechniek.

Is TPC een materiaal voor het MKB?

Ja, maar het blijft een kwestie van zoeken en afwegen waar de voordelen zitten tegen de kostprijs van het geheel. We hopen dat dit project in de toekomst kan helpen om die keuzes te maken.



HET PROJECT TEAM:

Linksboven: Alexander Jansen

Boven: Peter Bas Schelling (werkstudent), Freek Noordhuis, Pieter Schreuder

Onder: Koen Hermans, Margie Topp, Jasper Bouwmeester

6 Projectpartners

Beutech

Oevers 11
8331 VC Steenwijk
T: 0521 – 343536
E: info@beutech.nl
I: www.beutech.nl

Wagenbouw Bolle

Verlengde Gildenweg 27
8304 BK Emmeloord
T: 0527 – 613755
E: info@wagenbouwbolle.nl
I: www.wagenbouwbolle.nl

Cato Composite Innovations

Verhuellweg 9
6984 AA Doesburg
T: 0313 – 480369
E: info@catoci.com
I: www.catoci.com

FFWD

Baileystraat 4f
8013 RV Zwolle
T: 038 – 4236447
E: info@ffwd.com
I: www.ffwdwheels.com

Modified Materials

Sintekrijnputje 24
4661 LN Halsteren
T: 06 – 23333271
E: jos.lobee@gmail.com
I: www.modifiedmaterials.nl

Novek

Industrieweg 66
8071 CW Nunspeet
T: 0341 – 253744
E: info@novek.com
I: www.novek.com

OIM Orthopedie

Balkendarsweg 5
9405 PT Assen
T: 0592 – 394267
E: b.hulzebos@oim.nl
I: www.oim.nl

People Creating Value

Oldenzaalsestraat 125
7514 DP Enschede
T: 053 – 4342624
E: info@pcvgroup.com
I: www.pcvgroup.com

Rondal

Flevoweg 1d
8325 PA Vollenhove
T: 0527 – 243500
E: info@rondal.com
I: www.rondal.com

Ten Cate

Campbellweg 30
7443 PV Nijverdal
T: 0548 – 619700
E: info@tencate.com
I: www.tencate.com

ICO

Randweg 22
8304 AS Emmeloord
T: 0527 – 690874
E: info@icobv.nl
I: www.icobv.nl

Veldink

Drentse Poort 15a
9521 JA Nieuw-Buinen
T: 0599 – 620412
E: info@veldink4kids.com
I: www.veldink.com

7 Lectoraat Kunststoftechnologie

Contactgegevens

Lectoraat Kunststoftechnologie
Campus 2-6
8000 GB Zwolle
T: 088 – 469 9700
E: kunststoftechnologie@windesheim.nl
I: www.windesheim.nl/kunststoftechnologie

Contactpersonen

Margie Topp

Lector
T: 088 – 469 7203
E: m.topp@windesheim.nl

Jasper Bouwmeester

Docent/ onderzoeker
T: 088 – 469 9753
E: j.g.h.bouwmeester@windesheim.nl

Koen Hermans

Junior Onderzoeker
T: 088 – 469 6609
E: kw.hermans@windesheim.nl

Freek Noordhuis

Docent/ onderzoeker
T: 088 – 469 7782
E: f.noordhuis@windesheim.nl

Pieter Schreuder

Junior Onderzoeker
T: 088 – 469 9504
E: p.schreuder@windesheim.nl

Alexander Jansen

Directeur TechForFuture/ Onderzoeker
T: 088 – 469 6442
E: afcm.jansen@windesheim.nl

Lectoraat Kunststoftechnologie

