ONDERZOEK

Poedercoaten op composiet

Lectoraat Kunststoftechnologie

Windesheim

Colofon

Titel:	Poedercoat op composiet
Publicatienummer:	LKT-RE-106950-1906
Datum:	juni 2019
Auteurs:	K. Hermans P. Schreuder Dr. ir. N.P. Boks Dr. M.D.C Topp
Subsidieverstrekker:	Green PAC (Green Polymer Application Centre)
Met medewerking van:	Koninklijke Van Wijhe Verf

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.

Inhoudsopgave

1. Inleiding 2
2. Achtergrond 3
3. Verkenning 4
Materiaal en methode 4
Resultaten verkenning 6
Conclusie verkennend onderzoek 9
4. Onderzoeksvragen vervolgonderzoek 10
5. Oppervlaktekwaliteit 11
Materiaal en methode 11
Resultaten 12
Conclusie oppervlakte kwaliteit 17
6. VOS-vrije reiniging 18
Reiniging 18
Conclusie reiniging 18
7. Poedercoat als duurzame gelcoat vervanger 19
Conclusie QCT 21
8. Conclusies 22

1. Inleiding

Poedercoaten is een techniek waarbij verf in poedervorm op een product wordt aangebracht en vervolgens wordt uitgehard in een oven. Poedercoatings worden al tientallen jaren aangebracht op metalen, bijvoorbeeld staal en aluminium. Een voordeel van deze techniek is dat er tijdens het coaten geen Vluchtige Organische Stoffen (VOS) vrijkomen, die brandbaar, explosief en/of giftig zijn[1].

Thermoharde composietmaterialen bestaan uit een vezel gecombineerd met een thermoharde matrix. Producten die gemaakt zijn van composiet materiaal worden veelal van een gelcoat voorzien. Dit is een coatinglaag die een product kleur, uitstraling en bescherming tegen invloeden van buitenaf kan geven. Nadeel van gelcoats gebaseerd op onverzadigde polyester is dat tijdens de verwerking VOS vrijkomen en dat dit een piekbelasting in de emissie veroorzaakt[2]. In plaats van een gelcoat zou een poedercoating kunnen worden aangebracht. Dit is mogelijk wanneer het composietproduct elektrisch geleidend is. Thermoharders zijn dat niet maar koolstofvezels hebben wel de eigenschap dat ze elektrisch geleidend zijn. De verwachting is dat de koolstofvezel in een composiet voor voldoende geleiding kan zorgen, waardoor het poeder aangetrokken wordt naar het substraat. Het is nog onbekend in welke mate de poedercoat uiteindelijk hecht op het composiet en wat de uiterlijke kenmerken van het gepoedercoatte product zijn.

Het lectoraat Kunststoftechnologie doet al enige tijd onderzoek op het gebied van poedercoaten op thermoplastische materialen[3, 4]. In een door GreenPAC gesteund onderzoek heeft het lectoraat Kunststoftechnologie samen met producent Koninklijke Van Wijhe Verf onderzocht of de poedercoattechniek ook toegepast kan worden op thermoharde composiet materialen.

2. Achtergrond

Poedercoat

Poedercoating wordt in poedervorm met behulp van perslucht langs een elektrode geblazen. Hierbij krijgen de poederdeeltjes een lading. Het te coaten composiet maakt contact met een spuitcabine en wordt daar geaard. Dit is mogelijk wanneer het composiet waarop het poeder gespoten wordt elektrisch geleidend is. Door het elektrisch potentiaalverschil worden de poederdeeltjes en het product tot elkaar aangetrokken. Vervolgens wordt het product met poeder in een oven wordt geplaatst. In de oven smelt het poeder en vloeit het uit, waarna het vervolgens uithardt.

Composiet

Composieten bestaan uit vezel en een matrix. De glas- of koolstofvezels zorgen voor sterkte en stijfheid, de matrix (hars) houdt de vezels in de gewenste vorm. Als vezel wordt veelal glas- of koolstofvezel gebruikt. Als matrix wordt vaak een onverzadigd polyesterhars, een vinylesterhars of een epoxyhars gebruikt.

Composieten worden meestal door middel van handlamineren of vacuüminfusie. Bij handlamineren wordt het vezelmateriaal laag voor laag geïmpregneerd met hars met behulp van handgereedschap. Vacuüminfusie is een methode waarbij eerst het vezelpakket in volgorde opgebouwd wordt. Vervolgens wordt het vezelpakket onder een folie onder vacuüm gebracht. Door de gecreëerde onderdruk in deze ruimte kan er hars vanaf een reservoir door de vezels getransporteerd worden. Een laminaat wat met vacuümfusie is gemaakt, heeft een kleinere hars fractie dan een handlaminaat.

Voorafgaand onderzoek

Het lectoraat Kunststoftechnologie heeft onderzoek gedaan naar poedercoaten op thermoplastische kunststoffen. Het bleek mogelijk om polypropeen met toegevoegd carbon black te poedercoaten. Het uiterlijk van de coating bleek afhankelijk van de hoeveelheid poeder die door het substraat aangetrokken werd tijdens het poedercoaten, dit is de poederadhesie. De oppervlakte weerstand van het substraat bleek een goede indicator voor de poederadhesie. Een oppervlakteweerstand van $5{,}6*10^4$ Ω/sq bleek voldoende laag voor adequate poederadhesie wat resulteerde in een egaal dekkende coating[iii].

Poedercoat op thermoharder

Het huidige onderzoek is gestart met een verkenning. Deze verkenning heeft als doel een poedercoating te realiseren op een composiet. Er wordt bepaald op welke wijze een poedercoat op composiet kan worden aangebracht en wat eigenschappen van de coating zijn. Op basis van de verkenning worden een aantal onderzoeksvragen opgesteld.

3. Verkenning

Materiaal en methode

De gebruikte composietproefstukken (vlakke panelen van 20 x 25 cm) zijn geproduceerd door middel van handlamineren en vacuüminfusie. De proefstukken zijn gemaakt met drie verschillende harssystemen: Polyesterhars (UPR) (Synolite 1967-G-9, Aliancys), vinylesterhars (VE) (Atlac 430, Aliancys) en epoxyhars (EP) (Epoxyzharz L met harder L, carbonwinkel.nl). De UPR en VE harsen zijn uitgehard met 1% peroxide (Butanox M50, Akzo Nobel). De UPR hars is voor enkele proefstukken thixotroop gemaakt door het toevoegen van 0,6 massa procent (m%) Aerosil 200 (Evonik Industries). Het gebruikte koolstofweefsel is HTA40 200 tex (3K) 200 g/m^2 weefsel (Toho Tenax). Bij een aantal proefstukken is een glasweefsel (E-glas) gebruikt van 300 g/m^2 (EWR300A, Jushi).

Met de drie verschillende harssystemen en het koolstofweefsel (KW) zijn tien laags proefstukken geproduceerd. Met UPR is ook een proefstuk gemaakt met 8 lagen glasweefsel (GW) en één laag koolstofweefsel aan beide buitenzijdes. Een overzicht van de proefstukken staat in Tabel 1. De serienaam bestaat uit achtereenvolgens een aanduiding voor het type weefsel van de buitenste lagen, type weefsel van de kern en het harstype met mogelijke toevoeging. Vervolgens wordt aangegeven of het om een handlaminaat gaat (h) of vacuüminfusie (v).

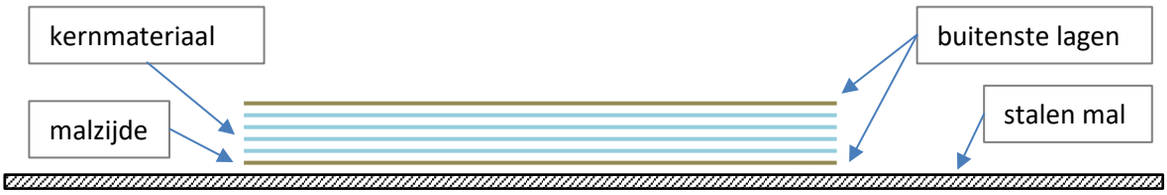
Tevens zijn een aantal referentie panelen gemaakt. Deze bestonden uit staal, glasweefsel met UPR en glasweefsel met EP. De staalreferentie is gebruikt omdat dat een veelgebruikt materiaal is voor poedercoatings. De andere twee referenties zijn gebruikt om te bepalen of het koolstofweefsel nodig is voor poederadhesie.

Serie	Thermoharder	geleidend materiaal	kern
KW-KW/ UPR, h, v	UPR	10 lagen koolstofweefsel	n.v.t.
KW-KW/ UPR-TX, h	UPR + 0,6 m% Aerosil	10 lagen koolstofweefsel	n.v.t.
KW-GW/ UPR, h, v	UPR	2 lagen koolstofweefsel	8 lagen glasweefsel
KW-KW/ VE, h, v	VE	10 lagen koolstofweefsel	n.v.t.
KW-KW/ EP, h, v	EP	10 lagen koolstofweefsel	n.v.t.

Tabel 1, koolstofweefsel proefstukken. Serienaam volgens: buitenste lagen-binnenlagen/ harstype-harstoevoeging. Koolstofweefsel (KW) - glasweefsel (GW)/ polyester (UPR), vinylester (VE), Epoxy (EP) - thixotroop (TX). Er zijn zowel panelen met de hand gelamineerd (h) als met vacuüminfusie (v) gemaakt.

Verwerking proefstukken

De proefstukken zijn geproduceerd op een stalen mal waarop vijf lagen wax (Honey Wax) waren aangebracht en uitgepoetst. Een schematische doorsnede van de proefstukken wordt weergegeven in Figuur 1. De epoxyhars is verwerkt met een hars:harderverhouding van 100:40 gewichtsdelen. De panelen zijn na 24 uur gelost van de mal en gezaagd met een watergekoelde diamantzaag. Het zagen verwijdert de scherpe randen en uitstekende vezelresten die na het lamineren ontstaan. Vervolgens zijn de panelen gedroogd bij kamertemperatuur gedurende minimaal 24 uur en vervolgens gereinigd met isopropyl alcohol (IPA). De EP-proefstukken zijn na het lossen gepostcured gedurende 16 uur bij 60°C.



Figuur 1, schematische doorsnede van een proefstuk

De panelen zijn geproduceerd door middel van handlamineren en vacuüminfusie. De vacuümpomp was bij de UPR en VE-vacuüminfusie panelen ingesteld op -0,70 bar tot -0,80 bar. De epoxy-vacuüm panelen zijn geïnfuseerd met ingestelde waarden van -0,95 bar tot -0,98 bar.

Poedercoaten

De panelen werden voorzien van ophangpunten door er gaten in te boren. Ze werden in een spuitcabine opgehangen met behulp van verkoperde haken (zie Figuur 2). Er zijn tijdens het coaten twee manieren van contact met de spuitcabine. De haken maken contact met de doorboorde panelen en de panelen hangen met hun achterzijde tegen een aluminium stang aan. De poedercoating (low-bake poeder van Koninklijke Van Wijhe Verf) werd aan de malzijde van de proefstukken aangebracht met een Corona handpistool.

Figuur 2, Drie proefstukken in de spuitcabine, de witte poederlak is inmiddels aangebracht.

Uitharding

Per serie zijn drie gecoate proefstukken uitgehard in een gecombineerde infrarood (IR)/ hete-lucht oven (Triab) voor 21 minuten 130°C. Deze instelling zorgde voor een temperatuur op een testpaneel tussen de 125°C en 136°C. Van een aantal series zijn twee panelen 25 minuten uitgehard in een conventionele convectie oven (Heraeus) bij 130°C.

Testen

Weerstandsmeting

Vóór het coaten is de oppervlakteweerstand gemeten. Deze is bepaald door twee elektroden aan te brengen met zilververf. De afmetingen en meetmethode staan beschreven in ASTM D257 als ‘conducting paint elektrodes’ op ‘plate specimen’. De gerapporteerde oppervlakteweerstand is het gemiddelde van drie proefstukken.

Poederadhesie

De poederadhesie is bepaald door de massatoename van het proefstuk met de coating te meten en te vermelden per oppervlakte eenheid. De gerapporteerde poederadhesie is het gemiddelde van drie proefstukken.

Hechtingstesten

De hechting van de uitgeharde lak op de proefstukken is getest door middel van pull-off en cross-cut testen gebaseerd op respectievelijk NEN-EN-ISO 4624 en NEN-EN-ISO 2409. De pull-off testen zijn uitgevoerd met een testsnelheid van 1 MPa/s. Hierbij zijn aluminium dolly's gebruikt waarvan het hechtvlak een diameter heeft van 20 mm. De coating en dolly's zijn vooraf licht opgeruwd met schuurpapier (korrel 240). De dolly's zijn 24 uur voor de meting op de proefstukken gelijmd met behulp van Araldite 2011 (Huntsman). Er zijn per serie drie proefstukken in duplo getest. Het gemiddelde en de standaardafwijking zijn bepaald aan de hand van deze zes metingen.

De cross-cut metingen zijn met de hand uitgevoerd met een enkel mes en een sjabloon. De snedes hebben een onderlinge afstand van 2 mm. Mogelijke coatingresten werden verwijderd door tape aan te brengen en na 5 minuten los te trekken. De hechting is beoordeeld volgens NEN-EN-ISO 2409 waarbij klasse 0 staat voor zuivere sneden en bij klasse 5 laat meer dan 65% van de lak onder de dolly los. Per serie zijn drie proefstukken in duplo getest.

Resultaten verkenning

Oppervlakteweerstand en poederadhesie

De oppervlakteweerstand en poederadhesie staan vermeld in Tabel 2. De oppervlakteweerstand van de koolstofweefselpanelen is gemeten en bevond zich tussen 8,65E+01 (KW/ VE, v) en 6,08E+03 Ω/sq (KW/ EP, h). De referentiepanelen met glasweefsel en UPR of EP hadden een oppervlakteweerstand van meer dan 4,12E+09 Ω/sq.

Serie	Oppervlakteweerstand *Ω/sq*	poederadhesie *g/m²*
Handlaminaten		
KW/ UPR, h	2,44E+03	192
KW/ UPR-TX, h	2,53E+02	133
KW-GW/ UPR, h	1,03E+03	107
KW/ VE, h	4,88E+02	170
KW/ EP, h	6,08E+03	167
Vacuüminfusie		
KW/ UPR, v	1,15E+02	123
KW-GW/ UPR, v	1,01E+02	106
KW/ VE, v	8,65E+01	183
KW/ EP, v	2,17E+02	131
GW/ UPR, h ref.	▸4,12E+09	19
GW/ EP, h ref.	▸4,12E+09	3

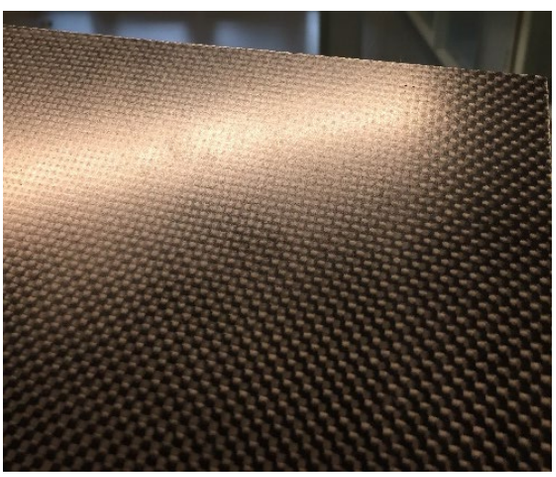
Tabel 2, oppervlakteweerstand en poederadhesie. Koolstofweefsel (KW) - glasweefsel (GW)/ polyester (UPR), vinylester (VE), Epoxy (EP) - thixotroop (TX). Handlaminaten (h) en vacuüminfusie (v).

Zoals verwacht, bleken de referentiepanelen nauwelijks poederadhesie te hebben, 3 tot 19 g/m^2. De poederadhesie van de panelen met koolstofweefsel bevond zich tussen de 106 g/m^2 (koolstofweefsel, UPR, vacuüminfusie, KW/UPR v) en 192 g/m^2 voor de hand gelamineerde koolstofweefsel UPR panelen (KW/ UPR, h). Bij de geteste composiet panelen blijkt koolstofweefsel nodig om poederadhesie te verkrijgen.

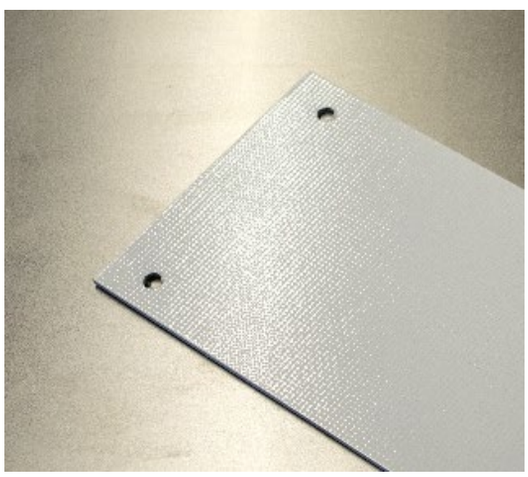
De proefstukken met een glasvezel kern (KW-GW/ UPR) hadden een poederadhesie van 107 g/m^2. Een enkele laag koolstofweefsel aan de buitenzijde van het composiet blijkt voldoende om poederadhesie te verkrijgen.

Uiterlijk

Figuur 3 en Figuur 4 geven een koolstoflaminaat weer voor en na het coaten. Alhoewel de koolstof panelen poederadhesie vertonen, is het uiterlijk van de gecoate panelen anders dan verwacht. Ondanks het feit dat de panelen een vlakke zijde hebben waarop de poedercoating is aangebracht is er toch een reliëf in de vorm van het weefselpatroon waarneembaar na het uitharden van de coating. Dit reliëf is waargenomen op alle panelen onafhankelijk van de hoeveelheid poederadhesie. Het reliëf is niet waarneembaar op de referentie van staal. Verschillen in het uiterlijk van de coating tussen de handlaminaten en de vacuüminfusie panelen werd niet geconstateerd.

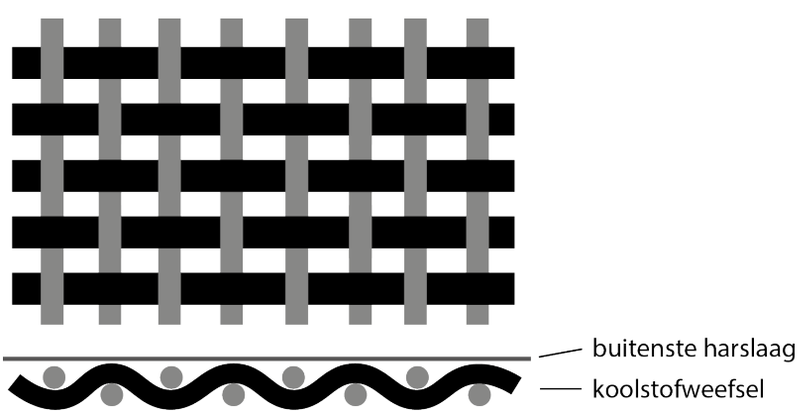


Figuur 3, koolstoflaminaat, de vlakke malzijde die gelakt gaat worden is zichtbaar.



Figuur 4, koolstoflaminaat na het poederlakken, een reliëf is zichtbaar.

Dit patroon wordt wellicht veroorzaakt door verschillen in de elektrische weerstand op delen waar het koolstofweefsel dichter en minder dicht aan het oppervlakte ligt (Figuur 5). In hoofdstuk 5 wordt onderzocht of mogelijk een gelijkmatigere elektrische geleiding bereikt kan worden.



Figuur 5, weefsel bovenaanzicht en zijaanzicht (onder)

Hechting

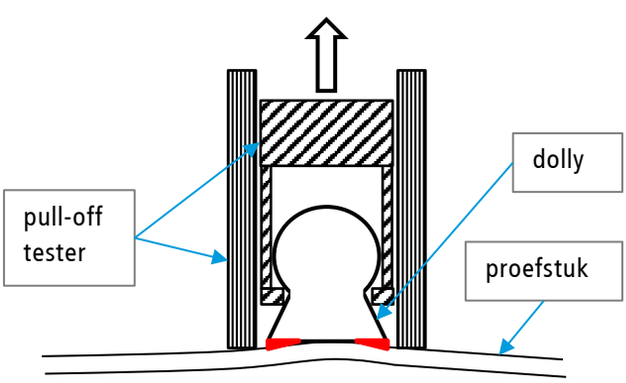
De hechting van de coating is bepaald door middel van pull-off en cross-cut testen. De resultaten hiervan staan vermeld in Tabel 3.

serie	IR-oven pull-off *MPa*	IR-oven pull-off *st. dev.*	IR-oven cross cut *klasse*	Convectie oven pull-off *MPa*	Convectie oven pull-off *st. dev.*	Convectie oven cross cut *klasse*
Handlaminaten						
KW/ UPR, h	2,06	± 0,68	2	0,11	± 0,15	4
KW/ UPR-TX, h	2,96	± 0,18	1	1,27	± 0,93	1
KW-GW/ UPR, h	3,40	± 0,39	1	1,25	± 1,11	3
KW/ VE, h	0,51	± 0,41	5	0,32	± 0,45	5
KW/ EP, h	3,67	± 0,65	1	0,59	± 0,83	2
Vacuüminfusie						
KW/ UPR, v	3,05	± 0,23	1	0,61	± 0,86	1
KW-GW/ UPR, v	2,64	± 0,22	0	nb	nb	nb
KW/ VE, v	0,62	± 0,48	5	0,11	± 0,16	5
KW/ EP, v	2,50	± 0,63	0	nb	nb	nb
Staal ref.	2,58	± 0,20	0	nb	nb	nb

Tabel 3, resultaten van de koolstofweefsel proefstukken. Koolstofweefsel (KW) - glasweefsel (GW)/ polyester (UPR), vinylester (VE), Epoxy (EP) - thixotroop (TX). Handlaminaten (h) en vacuüminfusie (v).

Uit de resultaten van de pull-off en cross-cut blijkt dat de proefstukken die in de IR oven zijn uitgehard consistent beter zijn dan de proefstukken die in de convectieoven zijn uitgehard. De resultaten uit de traditionele convectieoven hebben alle een pull-off waarde van minder dan 2 MPa. Een pull-off waarde van ▸2 MPa wordt door de industrie veelal als voldoende gekwalificeerd. Geen van de proefstukken die uitgehard zijn in de convectieoven heeft voldoende hechting.

De proefstukken die vervaardigd zijn met VE hebben een waarde tussen de 0,11 (KW/ UPR, h uit de convectie oven) en 0,62 MPa (KW/ VE, v uit de IR-oven). De overige panelen uit de IR-oven hebben allen een pull-off waarde van meer dan 2 MPa. De poedercoating blijkt voldoende te hechten aan panelen met koolstofweefsel en UPR en EP hars wanneer de coating wordt uitgehard in een IR-oven.



Figuur 6, schematische doorsnede van een pull-off test. Het rode gedeelte geeft een deel aan waar een grotere vervorming optreed bij de coating.

Naast bovenstaande effecten lijkt ook de stijfheid van het laminaat een rol te spelen bij de gemeten pull-off waarden. De panelen zijn op verschillende manieren vervaardigd en hebben ook niet allemaal dezelfde laminaatopbouw. Dit zorgt voor verschillen in stijfheid van de panelen. Deze stijfheid speelt een rol bij de pull-off test [5,6]. Wanneer de panelen minder stijf zijn en daardoor meer doorbuigen tijdens de test wordt een kleinere vervorming teweeggebracht bij de coating in het midden ten opzichte van de rand, zie Figuur 6. De spanningsberekening ($\sigma = F / A$) houdt echter rekening met het gehele oppervlak onder de dolly. De kracht waarbij de hechting bezwijkt wordt gedeeld door een groter oppervlak dan het oppervlak waar deze kracht daadwerkelijk optreed. Daardoor zijn de gerapporteerde pull-off waarden lager dan de spanning die daadwerkelijk optreedt aan de rand van het testoppervlak. Dit maakt de pull-off waarden ongeschikt om glasweefsel met koolstofweefsels te vergelijken.

Bij de meerderheid van de UPR en EP panelen uit de IR-oven zijn cross-cuts gemeten van klasse 0 of 1, deze klasse worden door de industrie veelal als goed beoordeeld. De koolstofweefsel UPR (h) panelen zijn beoordeeld als klasse 2. Bij de resultaten van de cross-cut test valt wederom op dat de poederlak nauwelijks hecht op de VE proefstukken. Een goede verklaring moet nog gevonden worden.

Conclusie verkennend onderzoek

In dit verkennend onderzoek staan experimenten beschreven waarin composiet proefstukken bestaande uit weefsel en drie types hars (UPR, VE, EP) gepoedercoat zijn. De proefstukken zijn geproduceerd door middel van handlamineren en vacuüminfusie. De hechting van de coating is beoordeeld met pull-off en cross- cut tests.

Bij de geteste proefstukken bleek koolstofweefsel noodzakelijk om poederadhesie te bewerkstelligen. Echter bleek het laminaat niet volledig uit koolstofweefsel te hoeven bestaan. Panelen met een glasweefsel kern en een enkele laag koolstofweefsel aan de buitenzijde bleken poederadhesie te vertonen.

De coating blijkt een goede hechting te vertonen bij de koolstofweefsel proefstukken gemaakt met UPR en EP harsen wanneer deze uitgehard worden in de IR-oven. Ook wanneer enkel de buitenzijde van de proefstukken uit koolstofweefsel bestaat is voldoende hechting vastgesteld. De gebruikte convectieoven blijkt geen bruikbaar alternatief voor het verkrijgen van voldoende hechting van de coating op de panelen.

De gerapporteerde pull-off waardes van proefstukken met UPR en EP hars uit de IR-oven zijn minimaal 2,06 MPa (koolstofweefsel UPR, handlaminaat) tot een maximum van 3,67 gemeten bij de koolstofweefsel EP handlaminaten. Ook de gemeten cross cut van 0 of 1 wordt door de industrie als goed beoordeeld. De coating hecht echter nauwelijks op de VE panelen. Dit blijkt zowel uit de pull-off als de cross-cut.

Visuele inspectie van de panelen bracht een reliëf op het oppervlak aan het licht. Dit reliëf lijkt op het weefselpatroon van het onderliggende koolstofweefsel alhoewel de proefstukken dit reliëf niet vertoonden voordat ze gecoat zijn. Mogelijk kunnen andere geleidende buitenlagen bij de panelen ervoor zorgen dat er geen reliëf ontstaat bij de aangebrachte poedercoating.

Uit deze verkenning blijkt een goede hechting van poedercoat op composiet mogelijk. Het weefselpatroon-uiterlijk van de coating is echter niet gewenst. De verkenning krijgt een vervolg op basis van een aantal gestelde onderzoeksvragen, deze staan in hoofdstuk 4.

4. Onderzoeksvragen vervolgonderzoek

Naar aanleiding van het verkennende onderzoek zijn een aantal onderzoeksvragen opgesteld. Met het doel de functionaliteit van het gecoate paneel te verbeteren en een mogelijke toepassing te kunnen aanbevelen.

Op welke wijze kan de oppervlaktekwaliteit verbeterd worden?

De proefstukken bij het verkennende onderzoek hadden geen voldoende oppervlaktekwaliteit. In het vervolg worden alternatieven voor het koolstofweefsel onderzocht waarmee mogelijk een gelijkmatigere elektrische geleiding bereikt kan worden om het weefselreliëf te voorkomen.

Kan een VOS vrije reiniging toegepast worden?

De panelen zijn in het verkennend onderzoek gereinigd met isopropyl alcohol (IPA) om mogelijke resten lossingswas en vervuiling door handelingen te verwijderen. Het gebruikte oplosmiddel heeft echter emissie van VOS. Een VOS vrij alternatief zal vergeleken worden met IPA en ongereinigde proefstukken.

Kan poedercoat dienen als duurzame gelcoat vervanger?

Gelcoats zorgen behalve voor kleur en glans ook voor bescherming tegen onder andere vocht. Door middel van een damptest wordt onderzocht of het gepoedercoate composiet proefstukken bestand zijn tegen de invloed van vocht.

In de komende hoofdstukken wordt aandacht besteed aan het beantwoorden van deze vragen.

5. Oppervlaktekwaliteit

Materiaal en methode

Om een proefstuk te realiseren waar de poederlak zich zowel gelijkmatig verdeelt en na uitharding een goede oppervlaktekwaliteit laat zien, zijn twee alternatieven voor het koolstofweefsel gebruikt. De buitenste lagen van het laminaat zijn vervangen door vliezen (non wovens) van koolstof of polyester met carbon black. Het gebruikte koolstofvlies heeft een massa per oppervlakte van 20 g/m^2 (KV), het polyestervlies (PV) is 65 g/m^2. Koolstofvliezen (190289-X) zijn besteld via Carbonwinkel.nl en het polyestervlies (3C7020) is verkregen van Lantor. De gebruikte harsen zijn: polyesterhars (UPR) (Synolite 1967, Aliancys) en epoxyhars (EP) (Epoxyzharz L met harder L, carbonwinkel.nl).

Een andere mogelijkheid om een gelijkmatiger geleidend oppervlakte te creëren is het geleidend maken van de hars door grafiet toe te voegen. Hiervoor is 5 massa procent (m%) grafiet (Cond 8 96 van AMG Mining) toegevoegd aan UPR en vijf minuten gemixt, vervolgens is 1% Butanox M50 toegevoegd en is de hars 10 minuten ontlucht m.b.v. vacuüm.

Met deze methodes zijn tien nieuwe series proefstukken gemaakt. Omdat de koolstofweefsel proefstukken met een glasvezelkern voldoende poederadhesie en hechting vertoonde is er voor gekozen om het goedkopere glasweefsel als kernmateriaal te gebruiken. De proefstukken zijn op dezelfde wijze geproduceerd als de koolstofweefselproefstukken. Met uitzondering van de panelen die enkel met geleidende hars gemaakt zijn. Bij deze is 5 m% grafiet (afgekort tot 'gr') toegevoegd aan UPR. Vervolgens is hier een casting van gemaakt met een mal bestaande uit twee glasplaten en een rubberen afdichting. Alle epoxy panelen zijn gepostcured voor 16 uur bij 60°C.

Een aantal panelen zijn onder een microscoop gefotografeerd. De foto's zijn gemaakt met een Olympus BHM microscoop met een 5x objectief.

Resultaten

Oppervlakteweerstand en poederadhesie

De oppervlakteweerstand en poederadhesie is bepaald en wordt weergegeven in Tabel 4. Bij de glasweefselpanelen met polyestervlies en EP is de oppervlakteweerstand meer dan $4{,}12*10^9$ Ω/sq gemeten. Dit is vele malen hoger is dan de $5{,}6*10^4$ Ω/sq die voor thermoplasten bepaald is als voldoende[iii]. Er is niettemin een poederadhesie gemeten van 134 g/m^2. De poederadhesie is vergelijkbaar met grafiet gevulde UPR panelen met koolstofweefsel (KW/ UPR-gr 123 g/m^2) terwijl bij die panelen de gemeten weerstand 1,03E+03 Ω/sq is. De gemeten oppervlakteweerstand is in dit geval geen bruikbare indicator voor de poederadhesie.

serie	oppervlakteweerstand *Ω/sq*	poederadhesie *g/m²*
UPR handlaminaten		
KV-GW/ UPR, h	3,10E+03	86
PV-GW/ UPR, h	8,33E+04	114
KW/ UPR-gr, h	1,03E+03	123
GW/ UPR-gr, h	3,33E+05	186
EP handlaminaten		
KV-GW/ EP, h	2,90E+03	143
PV-GW/ EP, h	▸4,12E+09	134
UPR vacuüminfusie		
KV-GW/ UPR, v	1,35E+02	191
PV-GW/ UPR, v	5,14E+03	99
UPR casting		
UPR-gr, c	8,31E+03	139

Tabel 4, resultaten oppervlakteweerstand en poederadhesie. Koolstofweefsel (KW) - glasweefsel (GW)/ polyester (UPR), Epoxy (EP). Handlaminaten (h) en vacuüminfusie (v).

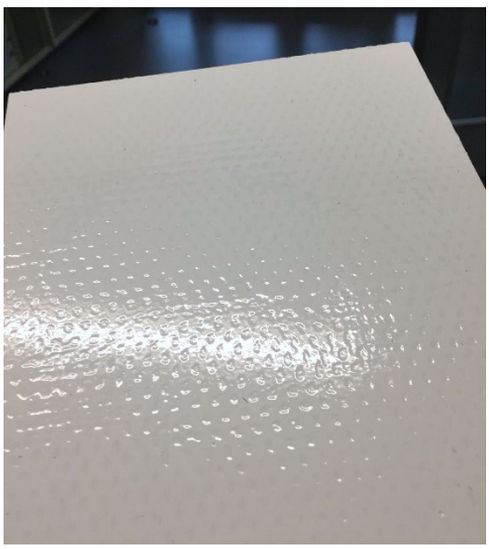
Uiterlijk

Op alle panelen is een dekkende, witte laag coating waargenomen. Het uiterlijk van de handgelamineerde proefstukken verschilt van de proefstukken die door middel van vacuüminfusie gemaakt zijn. Bij de vliespanelen die met vacuüminfusie gemaakt zijn is de onderliggende weefselstructuur van het glas zichtbaar, dit kan worden opgemaakt uit de rechter foto in Figuur 7. Bij de handgelamineerde proefstukken is dit niet het geval (Figuur 7, linker foto). De vacuüminfusie panelen zijn dunner en bevatten minder hars dan de handlaminaten. Tevens wordt het vlies tijdens de vacuüminfusie met 0,70 - 0,80 bar op het onderliggende glasweefsel gedrukt. Wellicht dat het vlies daardoor de vorm van het weefsel nauwer volgt dan bij de handlaminaten het geval is. Dit zou de waarneembare weefselstructuur in de coating van de vacuüminfusie panelen kunnen verklaren.

Figuur 7, links polyestervlies over glasweefsel handlaminaat (PV-GW/ UPR (h). Rechts hetzelfde materiaal geproduceerd met vacuüminfusie (PV-GW/ UPR (v). Bij de laatste is een weefselstructuur waarneembaar.

In Figuur 8 wordt de UPR-casting (UPR-gr) weergegeven. Hieruit kan geconcludeerd worden dat deze panelen een gedekt en vlak uiterlijk hebben. Het weefselpatroon dat bij de koolstofweefselpanelen zichtbaar werd na het uitharden is niet te zien bij deze panelen.

Figuur 8, gecoate UPR-grafiet casting.



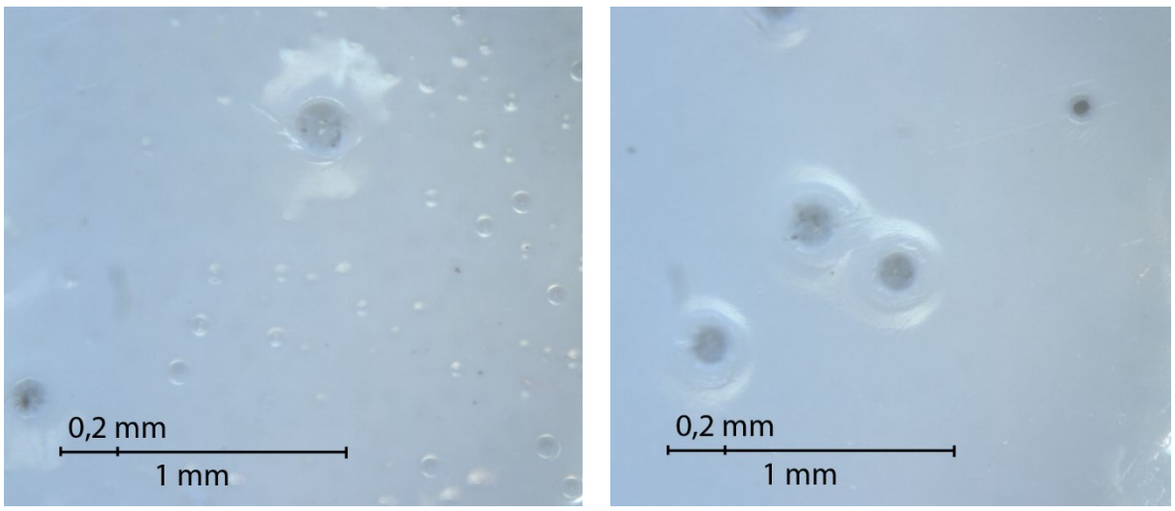
Figuur 9, gecoat proefstuk gemaakt van glasweefsel met UPR en grafiet (GW/ UPR-gr).

De panelen van glasweefsel en geleidende hars (GW/ UPR-gr) hebben een niet egaal uiterlijk (Figuur 9). Er zijn regelmatig kuiltjes waarneembaar. Hierbij lijkt meer poeder gehecht op de harsrijke delen van het proefstuk dan aan de delen waar het glasweefsel dicht aan het oppervlak zit. Dit is mogelijk te verklaren door een verschil van elektrische geleiding. Ook de koolstofweefsel panelen met grafiet en UPR hebben geen vlak uiterlijk.

Bij enkele panelen met een gedekt en vlak uiterlijk zijn wel enkele oneffenheden te ontdekken. Dit zijn ronde putjes waar niet of nauwelijks lak is terecht gekomen of waar de lak is weggetrokken, dit wordt op ware grootte weergegeven in Figuur 10. Deze zijn vooral zichtbaar op de polyestervlies panelen.

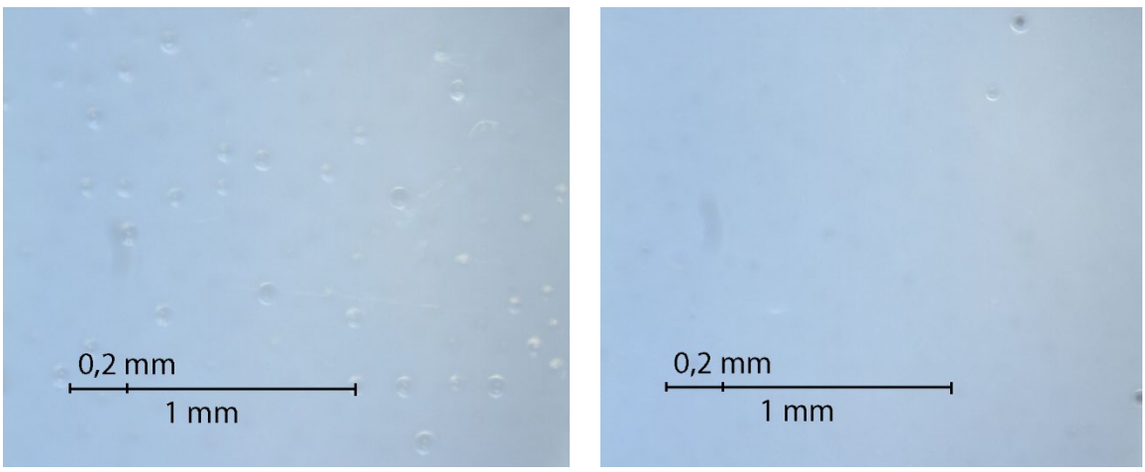
Figuur 10, gelakt polyester- en koolstofvlies (rechts) proefstuk. Op de polyestervlies panelen zijn oneffenheden in de vorm van putjes waarneembaar.

De koolstof- en polyestervlies panelen zijn met een microscoop bekeken om de putjes te kunnen duiden en om vast te stellen of er oneffenheden op de panelen aanwezig zijn die niet met het blote oog waargenomen zijn.



Figuur 11, links PV-GW/UPR (h) en rechts PV-GW/ EP (h). De grote cirkels zijn met het blote oog waarneembaar. De overige putjes worden duidelijk bij een vergroting van 5x.

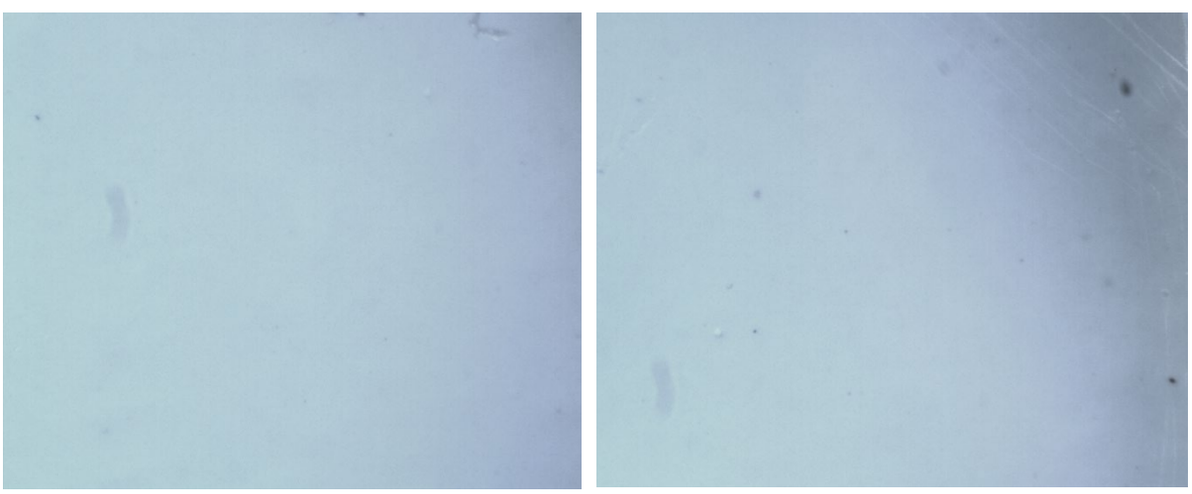
Er zijn op de microscoopopname van de polyestervliespanelen (zie Figuur 11) twee categorieën cirkels waarneembaar de grotere, die minder vaak aanwezig zijn en de kleinere die talrijk zijn. De grote cirkels zijn de oneffenheden (putjes) die ook met het blote oog zichtbaar zijn. Deze komen voor bij de polyestervliespanelen gemaakt met UPR en EP hars. De kleinere cirkels zijn waargenomen bij de PV panelen gelamineerd met polyesterhars.



Figuur 12, links KV-GW/ UPR (h), rechts KV-GW/ EP (h). Bij deze panelen zijn de kleinere cirkels waargenomen.

Uit de microscoopfoto's van koolstofvliespanelen (Figuur 12) valt op te maken dat ook bij de UPR koolstofvliespanelen oneffenheden aanwezig zijn. Deze zijn van het kleine type. Bij de koolstofvlies EP panelen zijn nauwelijks oneffenheden waargenomen. Mogelijk worden de oneffenheden in de UPR panelen veroorzaakt door reststyreen dat tijdens het curen van de coating uit de panelen migreert. Wat de oneffenheden bij de EP panelen veroorzaakt is onbekend.

Er zijn vervolgens koolstofvlies UPR panelen gemaakt die gepostcured zijn voordat de coating aangebracht werd. De panelen zijn hebben een post-cure ondergaan van 24 uur 70°C. Een aantal hebben een extra cure ondergaan van 10 minuten bij 130°C. Dit laatste is dezelfde temperatuur waarbij de coating ook uitgehard wordt.



Figuur 13, microscoopopname van KV-GW/ UPR (h) panelen, 24 uur gecured op 70°C. Het paneel op de rechterfoto is daarna 10 minuten gecured op 130°C.

De microscoopopname staan in Figuur 13. Bij het bestuderen van de panelen zijn de kleine cirkels niet meer waargenomen. Beide curing methodes leveren een coating op die onder deze vergroting (5x) bij de UPR panelen een egaal vlak oppervlak heeft.

Hechting

De panelen zijn op hechting getest (Tabel 5). Bij alle handlaminaten zijn pull-off waardes gemeten van meer dan 2,50 MPa. De handgelamineerde polyestervlies EP panelen hebben de hoogst gemeten waarde van 4,97 MPa (PV-GW/ EP, h). De koolstofvlies UPR panelen die een post cure hebben ondergaan behalen een lagere pull off-waarde dan de niet gepostcurede serie (KV-GW/ UPR, h). Na 24 uur post cure op 70°C wordt 3,02 MPa gemeten, na 24 uur 70°C en 10 min 130°C is 2,60 MPa vastgesteld ten opzichte van 3,65 MPa bij proefstukken zonder post-cure. Dit was tegen de verwachting in; door het postcuren wordt het rest-styreen gehalte gereduceerd wat tot stijvere laminaten en een minder poreuze coatinglaag zou moeten leiden en dus tot hogere pull off waarden. Speculatie is dat bij de panelen zonder postcure wellicht de porositeit bijdraagt aan de verlijming van de dollies. Bij de koolstofvlies EP panelen (KV-GW/ EP, h) is geen invloed vastgesteld van een extra post-cure cyclus op de pull-off waarde.

Er is bij de cross-cut geen verschil waargenomen tussen panelen die op verschillende wijze gepostcured zijn. De cross-cut klasse toewijzingen van alle panelen zijn enkel 0 en 1, wat aanduidt dat nauwelijks sprake is van flinters.

Serie	post cure	pull off		cross cut
		MPa	*st dev*	*Klasse*
UPR handlaminaten				
KV-GW/ UPR, h	nee	3,65	± 0,40	1
KV-GW/ UPR, h	24u, 70°C	3,02	± 0,44	0
KV-GW/ UPR, h	24u, 70°C en 10 min 130°C	2,60	± 0,40	0
PV-GW/ UPR, h	nee	3,35	± 0,23	1
KW/ UPR-gr, h	nee	3,49	± 0,12	0
GW/ UPR-gr, h	nee	3,85	± 0,70	0
EP handlaminaten				
KV-GW/ EP, h	16u, 60°C	2,92	± 0,43	0
KV-GW/ EP, h	16u, 60°C en 10 min 130°C	3,09	± 0,39	0
PV-GW/ EP, h	16u, 60°C	4,97	± 0,44	0
UPR vacuüminfusie				
KV20-GW/ UPR, v	nee	2,56	± 0,03	1
PV-GW/ UPR, v	nee	2,53	± 0,01	1
UPR casting				
UPR-gr, c	nee	3,72	± 0,52	0
Staal ref. (1 mm)	nvt	2,58	± 0,20	0

Tabel 5, resultaten pull-off en cross-cut. Koolstofweefsel (KW) - glasweefsel (GW)/ polyester (UPR), Epoxy (EP) - grafiet (gr). Handlaminaten (h) en vacuüminfusie (v).

Conclusie oppervlakte kwaliteit

In eerdere experimenten werd een reliëf aan het oppervlak van gecoate koolstofpanelen zichtbaar. Om dit te voorkomen zijn de buitenste lagen van de laminaten vervangen door koolstofvlies en polyestervlies met carbon black. Tevens is grafiet toegevoegd aan UPR als geleidend medium waarvan een casting is gemaakt. Het geleidend UPR is ook gebruikt in combinatie met glasweefsel en koolstofweefsel voor laminaten.

Handgelamineerde koolstof- en de polyestervlies panelen hadden een vlak uiterlijk. De weefselstructuur van eerdere proefstukken werd hierbij niet waargenomen. De casting met geleidende hars gaf een vergelijkbaar vlak en egaal wit uiterlijk. De glas- en koolstofweefsel laminaten met geleidende hars vertoonden reliëf. Het verschil in geleiding tussen de vezels en hars dicht aan het oppervlak zijn daar debet aan. De weefselstructuur was in gematigde vorm ook aanwezig bij de vacuüminfusie panelen.

Uit visuele inspectie en microscoopopname blijkt dat de handgelamineerde koolstofvlies, epoxy panelen de fraaiste resultaten geven. Er zijn bij deze proefstukken nauwelijks oneffenheden in de vorm van putjes of reliëf aanwezig op de panelen. De handgelamineerde UPR panelen vertonen een vergelijkbaar beeld wanneer deze gepostcured worden, in dit geval bleek 24 uur bij 70°C voldoende. Bij de polyestervlies UPR en EP panelen zijn veel kleine putjes waargenomen in de coating.

Alle panelen vertoonden een pull-off waarde van meer dan 2,50 MPa en cross-cut klasse 0 of 1. Dit zijn vergelijkbare of betere waarden dan de staalreferentie. Post-curing heeft een invloed op de pull-off waarde van de UPR koolstofvliespanelen. De panelen met een vlak en egaal oppervlak, koolstofvlies UPR (met 24u, 70°C post cure) en EP handlaminaten, hadden een pull-off waarde van respectievelijk 3,02 MPa en 2,92 MPa. De cross cut van deze proefstukken was klasse 0. Omdat de hechting van de coating op de EP en UPR koolstofvliespanelen vergelijkbaar is wordt er geen voorkeur uitgesproken.

Een gedekt en vlak uiterlijk van de coating blijkt mogelijk met de koolstofvlies panelen in combinatie met epoxy of polyesterhars, in het laatste geval dient het paneel wel gepostcured te worden voordat de coating aangebracht wordt.

6. VOS-vrije reiniging

Uit de vorige hoofdstukken valt op te maken dat met diverse vezelmaterialen en harsen composieten gemaakt kunnen worden waar de low-bake poedercoating van Koninklijke Van Wijhe Verf op hecht. De koolstofvlies panelen met glasweefselkern en epoxy of polyesterhars bleken een gedekt en vlak uiterlijk te geven wanneer de proefstukken gepostcured worden voordat de coating wordt aangebracht.

De panelen zijn voor het coaten gereinigd met isopropyl alcohol (IPA). Tijdens het poedercoaten komen echter geen VOS vrij en daarom wordt bezien of dit in het reinigingsproces voorafgaand aan het coaten ook gerealiseerd kan worden.

Reiniging

De randen van de panelen in dit hoofdstuk zijn niet gezaagd om contact met koelwater en zaagstof te voorkomen. De panelen zijn met verschillende schoonmaakmiddelen gereinigd. Als eerste reinigingsmiddelen is voor aceton en IPA gekozen omdat dit oplosmiddelen zijn om een lossingsmiddel te verwijderen. Als alternatief is kraanwater en zeep (Cif) gekozen omdat hierbij geen VOS vrijkomen. Daarnaast is als 0-meting een serie panelen niet gereinigd voor het coaten.

Er is visueel geen verschil tussen de panelen waargenomen. De resultaten van de pull-off test staan in Tabel 6. De verschillen tussen de gemiddeldes is niet meer dan 0,27 MPa. Dit is erg klein ten opzichte van de standaardafwijkingen (0,15 – 0,50 MPa). De reinigingsmiddelen hebben in dit geval geen invloed gehad op de pull-off waarde. De cross-cut was bij alle gemeten panelen klasse 0. Het lijkt hierdoor onwaarschijnlijk dat lossingsmiddel op het paneel achterblijft. Het blijkt mogelijk om bij deze epoxy panelen te coaten zonder vooraf te reinigen.

Serie	oplosmiddel	pull off		cross cut
		MPa	*st dev*	*klasse*
KV-GW/ EP	aceton	3,04	± 0,48	0
KV-GW/ EP	IPA	2,92	± 0,43	0
KV-GW/ EP	Cif + water	3,19	± 0,50	0
KV-GW/ EP	geen	3,08	± 0,15	0

Tabel 6, resultaten van de diverse reinigingen. Koolstofvlies (KV) - glasweefsel (GW) / epoxy (EP)

Conclusie reiniging

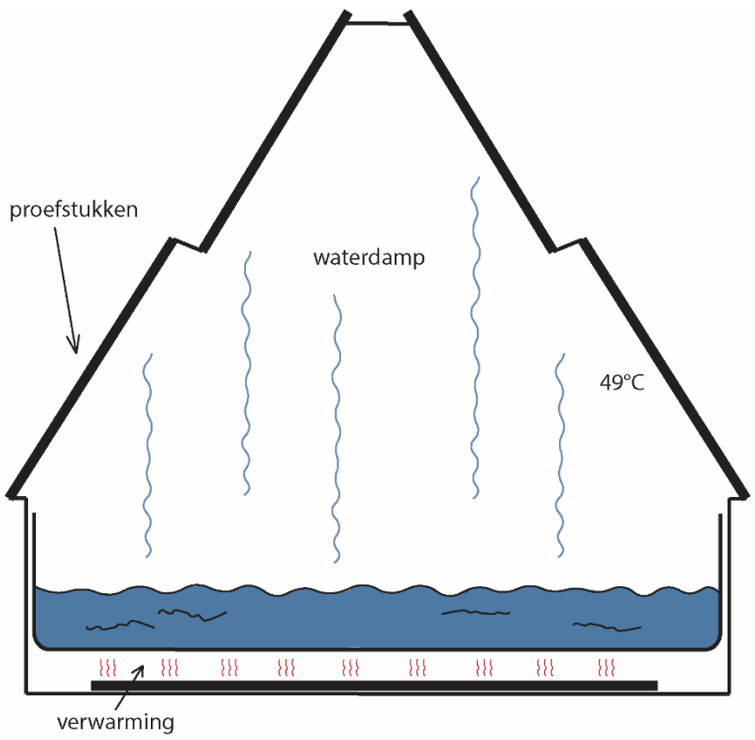
In voorgaande hoofdstukken bleek een dekkend vlak uiterlijk en hechting tussen koolstofvlies epoxy (KV-GW/EP, h) panelen en de low-bake poedercoating mogelijk was. In dit hoofdstuk is geëxperimenteerd om een VOC-vrij alternatief te vinden voor de reiniging van deze panelen.

Alle gehandlamineerde en vacuüminfusie panelen zijn op een stalen mal gelamineerd die behandeld was met een wax ten behoeven van de lossing. Mogelijk blijft er residu van deze wax achter op de proefstukken. Om de geschiktheid van verschillende reinigingsmiddelen te bepalen zijn koolstofvlies, epoxy proefstukken met diverse reinigingsmiddelen schoongemaakt (aceton, IPA en Cif + water) alvorens de poedercoating werd aangebracht. Tevens is er een serie onbehandeld ter referentie.

Vervolgens zijn de pull-off waarde en cross-cut waarde bepaald. Er is geen significant verschil gevonden tussen de diverse reinigingsmiddelen en ook niet ten opzichte van onbehandelde panelen. Het is voor de geteste toepassing niet nodig om de panelen te reinigen waardoor er geen spraken is van VOS uitstoot tijdens deze stap.

7. Poedercoat als duurzame gelcoat vervanger

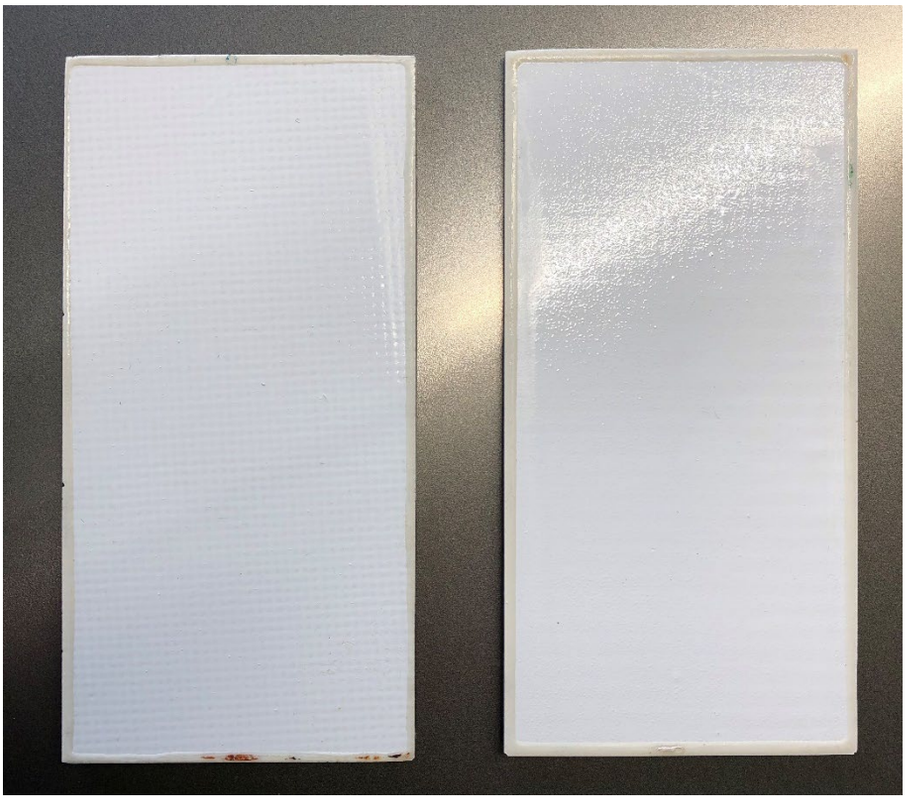
Gelcoats worden onder andere toegepast om composieten te beschermen tegen invloeden van buiten zoals vocht. Het is onbekend wat de invloed van vochtbelasting is op de gepoedercoatte composiet proefstukken. Om de bestendigheid tegen vocht te meten zijn voor een indicatieve test een aantal proefstukken blootgesteld aan condensbelasting door middel van een Q-lab condensation tester (QCT). De panelen zijn boven een waterbak geplaatst (zie Figuur 14), op de onderste rij van de QCT. De luchttemperatuur in de ruimte is ingesteld op 49°C ter hoogte van de poefstukken. De panelen zijn wekelijks van hun plaats gehaald afgedept en beoordeeld op oneffenheden in het oppervlak. De beoordeling vond plaats volgens ISO-EN-NEN 4628-2. Bij de beoordeling werd gelet op een tweetal aspecten, namelijk de hoeveelheid blaasjes en de grootte van de blaasjes die zichtbaar zijn op het oppervlak. Hierna zijn de proefstukken op een willekeurige plaats teruggezet. De test heeft in totaal 1512 uur geduurd.



Figuur 14, dwarsdoorsnede van de QCT opstelling

Na het voltooien van de test vertoont één proefstuk geen oneffenheden (KW-GW/ UPR, h) Figuur 15, linker proefstuk. Het rechter proefstuk toont een voorbeeld van de oneffenheden die zijn aangetroffen bij de overige panelen.

Het paneel wat vrij van oneffenheden is gebleven gedurende de QCT, was een koolstofweefsel-glasweefsel paneel met polyesterhars. Een tweede paneel bestaande enkel uit koolstofweefsel en polyesterhars liet echter oneffenheden zien bij 600 uur. Omdat de coating kwaliteit vooral door de lagen direct onder het oppervlak worden bepaald, is het verschil in prestatie op dit moment moeilijk te verklaren. Het enige verschillen tussen de panelen is dat het paneel met koolstofweefsel – glasweefsel dikker is dan het paneel wat alleen uit koolstof weefsel is opgebouwd en dat het koolstofweefsel-glasweefsel laminaat een dunnere coating laag heeft gekregen.



Figuur 15, twee proefstukken na het voltooien van de QCT test. Links KW-GW/ UPR, h en rechts KV-GW/ UPR, v.

Uit de resultaten (Tabel 7) is op te merken dat alle laminaten die opgebouwd zijn met koolstofweefsel (KW) en koolstofvlies (KV) in ieder geval tot 168 uur blootstelling geen oneffenheden vertonen. De laminaten met koolstofweefsel blijven ten minste 336 uur vrij van oneffenheden. De koolstofweefsel UPR panelen bevatten de minste hoeveelheid oneffenheden namelijk klasse 0 of 2. Volgens ASTM D714 wordt dit aangeduid als 'few'. Voor alle panelen geldt dat de grootte van de oneffenheden niet verandert nadat ze zijn aangetroffen. Dit is een wezenlijk verschil met het gedrag dat panelen voorzien van een gelcoat laten zien waar naar verloop van tijd blaarvorming plaats kan vinden; deze blaren nemen in de loop der tijd toe in grootte.

Hoeveelheid oneffenheden aantal uur	0	168	336	504	672	840	1008	1076	1296	1512
KW/ UPR, v	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2
KW/ UPR, h	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2
KW/ UPR-TX, h	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2
KW/ EP, h	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3
KW-GW/ UPR, h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KV-GW/ UPR, v	0	0	4	5	5	5	5	5	5	5
KV-GW/ UPR, h	0	0	2	2	2	3	3	3	3	3

Tabel 7, Hoeveelheid en grootte van de oneffenheden in een schaal van 0 tot en met 5. Bij 0 zijn er geen oneffenheden aanwezig bij 2 wel, bij 5 erg veel/ erg groot. Oneffenheden met een kwalificatie van 1 zijn met het blote oog niet waarneembaar.

Om de tijdsduur te duiden dat de proefstukken vrij van oneffenheden blijven wordt NEN-EN-ISO 9223:2012 gebruikt. Deze norm beschrijft de 'time of wetness' en deelt deze in een aantal klasses. Time of wetness is het aantal uur dat een metalen oppervlak per jaar nat is. Klasse $\tau 2$ (10 - 250 uur per jaar) is de klasse die binnen omgevingen omschrijft. Klasse $\tau 3$ (250-2500 uur per jaar) komt voor bij droge koude buitenklimaten. Oor de duur van de QCT test hebben we hierdoor niet kunnen vaststellen dat de proefstukken geschikt zijn voor meerjarige buitentoepassingen.

Conclusie QCT

Eén paneel is vrij van oneffenheden gebleven gedurende de QCT, een koolstofweefsel-glasweefsel paneel met polyesterhars.

De andere panelen vertoonden na verloop van tijd onregelmatigheden aan het oppervlak. De koolstofvlies panelen die op visuele aspecten het beste scoorden en bestonden uit UPR (KV-GW/ UPR), vertonen bij 336 uur oneffenheden. De grootte van de oneffenheden veranderde nauwelijks gedurende de test.

De proefstukken met poedercoating lijken uit deze indicatieve test met betrekking tot de geteste vochtbelasting niet bruikbaar als gelcoat vervanger.

8. Conclusies

Thermoharde composiet poedercoaten

Gedurende het onderzoek zijn composieten met verschillende harsen, laminaat opbouw en productiewijze geproduceerd met als doel een poedercoating te realiseren op het thermoharde composiet. Er is gebruikgemaakt van een drietal harssystemen, polyester (UPR), vinylester (VE) en Epoxy (EP). Koolstofweefsel, glasweefsels en 'non woven' vliezen zijn gebruikt als vezelmateriaal. Er zijn 10 laags proefstukken met de hand gelamineerd en zijn er proefstukken gemaakt met behulp van vacuüminfusie.

Laminaten van glas en met een buitenlaag van koolstofvlies bleken geschikt om een vlakke dekkende laag poedercoating op te realiseren. Dit is het geval wanneer de laminaten geproduceerd worden door middel van handlamineren. Wanneer de buitenste laag van het laminaat uit koolstofweefsel bestond vertoonde de coating na het uitharden een reliëf gelijkend op de weefselstructuur van het koolstof. De gebruikte oven heeft invloed op de hechting van de coating. Het is gelukt om met de IR-oven voldoende hechting te realiseren van coating op substraat (►2,0 MPa) bij de UPR en EP harsen. Met de convectie oven bleek dit niet mogelijk (◄1,5 MPa). De koolstofvliespanelen vertoonden nauwelijks oneffenheden in de coating en hadden een pull-off waarde van 2,92 MPa en cross cut van klasse 0 (koolstofvlies EP) en 3,02 MPa en cross cut 0 (koolstofvlies UPR panelen na post cure). Bij de polyestervliespanelen waren veel oneffenheden in de vorm van kleine putjes aanwezig. Bij de UPR panelen met vlies waren onder de microscoop kleinere cirkels waarneembaar. Wanneer die panelen een postcure ondergingen van 24 uur op 70°C, zijn deze cirkels niet meer waargenomen. Zonder post-cure is waarschijnlijk nog rest styreen aanwezig dat tijdens de cure van de poedercoat uit het paneel migreert.

De panelen kunnen vooraf gereinigd worden met IPA, aceton of water en zeep. Er zijn geen verschillen vastgesteld in de hechting bij de pull-off en cross-cut metingen. Het blijkt daardoor mogelijk om geen emissie van VOS te hebben tijdens het reinigen.

De oppervlakteweerstand van de proefstukken is bepaald, deze is in eerder onderzoek gebruikt als indicator van poederadhesie en daarmee de oppervlaktekwaliteit. Bij de geteste materialen bleek de oppervlakteweerstand in dit onderzoek echter geen indicatie te geven voor de poederadhesie. Ieder paneel met geleidend medium bleek voldoende poederadhesie te hebben om een dekkende laag te realiseren.

Om de waterdampbestendigheid te testen is een QCT uitgevoerd. Daarbij is één paneel is vrij van oneffenheden gebleven gedurende 1512 uur, een koolstofweefsel-glasweefsel paneel met polyesterhars. De andere panelen vertoonden na verloop van tijd onregelmatigheden aan het oppervlak. De grootte van de oneffenheden veranderde nauwelijks gedurende de test. Er kon niet vastgesteld worden dat de proefstukken geschikt zijn als gelcoat vervanger voor meerjarige buitentoepassingen.

Het is mogelijk gebleken om composiet te coaten met de low-bake poedercoating van Koninklijke Van Wijhe Verf. Er is een goede hechting verkregen met de gebruikte polyesterhars en epoxy composieten. Wanneer een koolstofvlies als buitenste laag gebruikt wordt en de proefstukken gepostcured worden levert dit een coatinglaag op met een gedekt en vlak uiterlijk.

Literatuur

1. Dossier Vluchtige organische stoffen, arbokennisnet.nl, 17 april 2009
2. Unified Emission Factors for Open Molding of Composites, 23 juli 2001
3. Stobbe, T. Onderzoek naar de optimale condities voor het poedercoaten van kunststoffen, Zwolle 2014
4. Willemsen, G.M. Effects of plasma surface treatment on morphology and surface chemistry, Zwolle 2016
5. Croll, S.G. Siripirom, C. Keil, B.D. Pull-Off Adhesion Test for Coatings on Large Pipes: possible variations in failure location and mode, 2014
6. Koleske, J.V. Paint and coating testing manual, 1995

Lectoraat Kunststoftechnologie

Het lectoraat Kunststoftechnologie stimuleert innovatie op het gebied van kunststofverwerking en -producten in het midden- en kleinbedrijf. Vanuit de onderzoeksprojecten, uitgevoerd door docenten van de technische opleidingen bij de Hogeschool Windesheim in samenwerking met bedrijven, vloeien nieuwe kennis en inzichten naar het Hoger Onderwijs én het bedrijfsleven.

Deze publicatie bevat een studie naar het poedercoaten van composieten. Het verslag is onderdeel van een reeks onderzoeken naar de mogelijkheden om zowel thermoplasten als thermoharders te kunnen voorzien van een poedercoating. Door literatuuronderzoek en toegepast onderzoek te combineren hoopt het lectoraat bij te dragen aan industriële productie van gepoedercoate kunststoffen.

VAN WIJHE VERF

EST. 1916

Windesheim

Green PAC

Polymer Application Centre