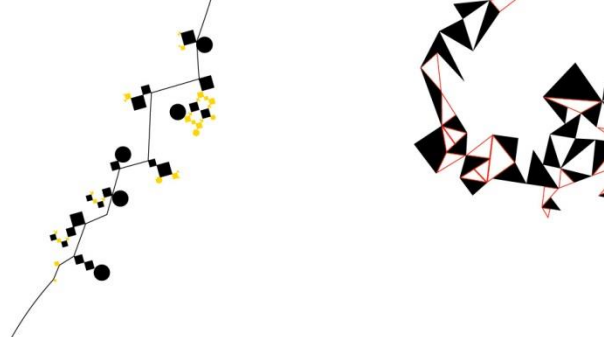
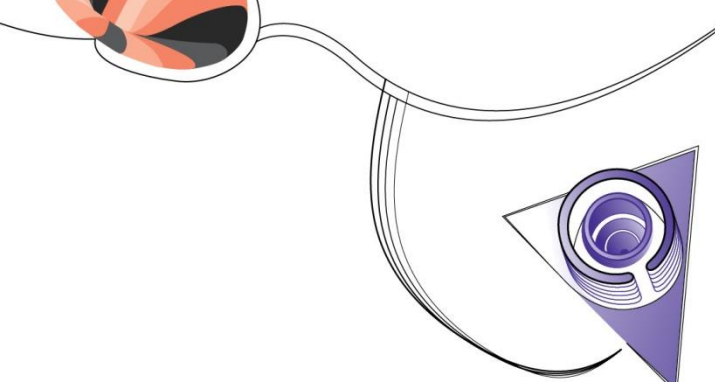




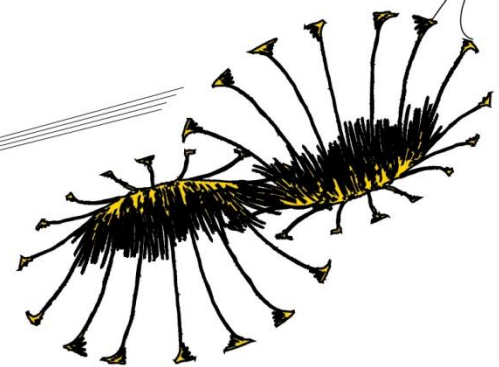
HERGEBRUIK COATINGPOEDER AFVAL

Bachelor Eindverslag Industrieel Ontwerpen

Iris Withagen

Van Gerrevink B.V.

Juli 2016



Titel afstudeerproject
Hergebruik coatingpoeder afval

Naam student
Iris Withagen

Studentnummer
1297813

Opleiding
Bachelor Industrieel Ontwerpen

Datum afsluitend tentamen
25-08-2015

Bedrijf
Van Gerrevink b.v.
Sint Maarten 2
7332 BG Apeldoorn

Beoordelingscommissie
Marc van Gerrevink
Jörg Henseler
Marten Toxopeus

Voorwoord

Als afsluiting van de bachelor Industrieel Ontwerpen wordt een bachelor eindopdracht gedaan bij een bedrijf. Deze bachelor eindopdracht ging over het onderzoeken van verschillende mogelijkheden om restpoeder dat ontstaat tijdens het poedercoatproces te kunnen hergebruiken. Dit 3 maanden durende onderzoek is samengevat tot dit bachelor eindverslag.

Inhoudsopgave

Samenvatting	6
Summary	7
Inleiding	8
1 Opdrachtschrijving	9
2 Poedercoaten	10
2.1 Voorbehandelen product	10
2.2 Poedercoaten	10
2.3 Afzuiging	10
2.4 Poederwissel	11
2.5 Uitharden/ moffelen	11
3 Het materiaal	13
3.1 Productie coatingpoeder	13
3.2 Samenstelling	13
4 Bindmiddelen	15
4.1 Epoxy	15
4.2 Polyester	16
4.3 Hybride coating	17
4.4 Polyurethaan	17
5 Oplossingsrichtingen	19
6 Uitharden	21
6.1 Testdoelen	21
6.2 Experimenten	21
6.3 Conclusie uitharden	28
6.4 Aanbeveling uitharden	28
7 Uitharden met vezels	29
7.1 Uithardingsproblemen	29
7.2 Conclusie uitharden met vezels	29
7.3 Aanbeveling uitharden met vezels	29
8 Primer	30
8.1 Testdoelen	30
8.2 Experimenten	30
8.3 Conclusie primer	31
8.4 Aanbeveling primer	31
9 Filler	32
9.1 Filler in verf	32
9.1.1 Experimenten	32

9.1.2 Conclusie filler in verf	33
9.1.3 Aanbeveling filler in verf	33
9.2 Filler in schuimtoepassingen	34
9.2.1 Experimenten	35
9.2.2 Conclusie filler in schuimtoepassingen	36
9.2.3 Aanbeveling filler in schuimtoepassingen	36
9.3 Filler in beton	38
9.3.1 Conclusie filler in beton	38
9.3.2 Aanbeveling filler in beton	38
9.4 Filler in automotive onderdelen	38
9.4.1 Conclusie filler in automotive onderdelen	38
9.4.2 Aanbeveling filler in automotive onderdelen	38
10 Poeder verwerking	39
10.1 Poeder in 3D printen	39
10.2 Poeder verwerkingsmethoden andere materialen	39
10.3 Conclusie poeder verwerking	40
10.4 Aanbeveling poeder verwerking	40
11 Pigment	41
11.1 Pigment toevoegen	41
11.1.1 Conclusie pigment toevoegen	42
11.1.2 Aanbeveling pigment toevoegen	42
11.2 Pigment verwijderen	42
11.2.1 Conclusie pigment verwijderen	43
11.2.2 Aanbeveling pigment verwijderen	43
12 Recycling	44
12.1 Recyclen van thermoharders	44
12.1.1 mechanische recycling	44
12.1.2 Feedstock recycling	45
12.1.3 energy recovery	45
12.1.4 Conclusie recyclen van thermoharders	45
12.2 Recyclen van polyurethaan schuim	45
12.2.1 Reuse	45
12.2.2 Mechanische recycling	46
12.2.3 Conclusie recyclen van polyurethaan schuim	47
12.3 Aanbeveling recycling	47
13 Totale conclusie	48
Bibliografie	50
Bijlage A	57
Bijlage B	108

Samenvatting

Tijdens het poedercoatproces ontstaat een afvalstroom van poeder van niet uitgeharde thermoharders. Momenteel wordt dit poeder nog gestort, waardoor de grondstof steeds opnieuw gewonnen moet worden, waardoor de voorraad hiervan afneemt. Daarom is voor deze bachelor eindopdracht onderzoek gedaan naar verschillende mogelijkheden om dit afvalpoeder te kunnen hergebruiken. Hiervoor zijn voorafgaand aan het onderzoek verschillende oplossingsrichtingen vastgesteld om te onderzoeken, dit waren: het verwerken van het restpoeder met verwerkingsmethoden voor thermoharders, het gebruiken van het restpoeder als matrixmateriaal in vezelversterkte kunststoffen, het restpoeder verwerken met bestaande poederverwerkingsmethoden, het restpoeder gebruiken als primer of als filler en het recyclen van het restpoeder na het verwerken met een van deze verwerkingsmethoden. Van deze verschillende oplossingsrichtingen is de haalbaarheid bepaald door middel van literatuur onderzoek en testen.

Tijdens de testen van het uitharden van het materiaal bleek dat het uitgeharde restpoeder erg bros is en dat er luchtbellens ontstaan in het uithardingsproces. Het verwerken van het restpoeder met verwerkingsmethoden voor thermoharders en poederverwerkingsmethoden zijn daarom niet bruikbaar. Het uitgeharde materiaal is ook niet geschikt als matrixmateriaal voor vezelversterkte kunststoffen, daarvoor is het te bros. Als er een manier gevonden kan worden om het restpoeder te kunnen scheiden op materiaalsoort, kan hier opnieuw onderzoek naar gedaan worden. Uit het onderzoek bleek dat het restpoeder gebruikt kan worden als primer, de hechting tussen het metalen oppervlak en de restpoederprimer is hiervoor voldoende. Alleen aangezien de oppervlakte kwaliteit onvoldoende is en de kostenverschil tussen een normale primer en een restpoederprimer minimaal is, zal het restpoeder niet boven een nieuwe primer gekozen worden. Ook is gekeken naar mogelijkheid om het restpoeder te gebruiken als filler in beton en verf. Vanwege de brosheid van het uitgeharde materiaal is het restpoeder niet als versterkende filler in beton te gebruiken. Het restpoeder is ook niet als filler in verf te gebruiken omdat de uithardingsreactie te snel inzet waardoor het mengsel niet vloeibaar genoeg meer is om mee te verven. Daarnaast bleek tijdens het literatuuronderzoek dat er een bedrijf is dat het restpoeder verwerkt als filler in automotive onderdelen. Het nadeel hiervan is dat zij alleen op materiaalsoort gescheiden poeders verwerken en de overige poeders die zij afnemen verbranden voor energie terugwinning, waardoor de grondstof verloren gaat.

Het restpoeder kan wel verwerkt worden tot een purschuim. Door het toevoegen van de uitharder ontstaat door een reactie waarin gas ontstaat, wat resulteert in de vorming van een stevig schuim. Dit schuim kan mogelijk gebruikt worden ter vervanging van purschuim in stevige, lichtgewicht producten of als isolatie materiaal. Daarnaast kan dit schuim goed gerecycled worden met de recycling methodes die momenteel al gebruikt worden om stijve schuimen mee te recyclen. Verder onderzoek is nodig naar de verhoudingen tussen het restpoeder, de uitharder en de juiste hoeveelheid water. Ook moet de invloed van het toevoegen van een katalysator nog worden onderzocht en de juiste verwerkingsmethoden en toepassingen voor dit schuim moeten worden bepaald.

Summary

During the powder coating process waste, consisting mainly of unhardened thermosets in powder form, is build up. Currently this waste powder is dumped in landfills, wasting this raw material. As a result, new powder has to be produced and since this is not a renewable material the stock of this material will decrease. To target this loss of waste powder, research into various possibilities to recycle the waste coating powder was conducted during this bachelor thesis. At the start of this thesis several lines of inquiry were set along which the research would take place, which included: application of thermoset processing methods on the rest powder, incorporating the rest powder as matrix material in fibre reinforced composites, using existing powder assimilation methods to process the rest powder, using the rest powder as primer or filler and finally investigating the recycle options of the powder after it has been processed in previously mentioned solution directions. The feasibility of these solution directions was determined through literature study and experimental testing.

During testing it was revealed that using thermoset processing methods creates a material that is very brittle and contains air bubbles which arise during the hardening process. Using the thermoset production methods or existing powder processing methods for processing the waste powder are therefore not applicable. Since the hardened material is very brittle using the cured powder as matrix material for fiber reinforced composites is not suitable. If a method can be found to separate the different types of waste powder new research can be conducted into these methods.

The research also showed that the waste powder could be used as a primer, the bond that is formed between the metal surface and waste powder primer is adequate. However because the surface quality of the primer, due to bubble formation, is rather low and the cost difference between a normal and waste powder primer is minimal, a waste powder primer is not preferable to a new primer.

In this research the possibility to use the rest powder as filler in concrete and paint was also investigated. Due to the brittle nature of the hardened waste powder material it is not usable as a reinforcing filler in concrete. Additionally the waste powder cannot be used as filler in paint because the hardening reaction starts too fast which decreases the viscosity of the paint mixture to a point where it is no longer paintable. During the literature study a company was found that uses the rest powder as filler in automotive parts. However this company only uses powders that have been separated based on material type and the other waste powder are burned for energy recovery which is an irreversible resource loss.

Finally, the rest powder can be processed into a rigid foam. By adding a hardener and water to the waste powder a reaction occurs forming a gas, which results in the creation of a rigid foam. This foam can be used as an alternative for polyurethane foam in strong lightweight products or as isolation material. Furthermore there are good existing recycling options for rigid foams. Additional research is required to find the right proportions of rest powder, hardener and water to create a satisfactory foam. Also the influence of a catalyst, appropriate processing methods and possible applications should be determined.

Inleiding

Tijdens het poedercoatproces ontstaat een afvalstroom van poeder van niet uitgeharde thermoharders. Momenteel wordt dit poeder nog gestort, waardoor de grondstof steeds opnieuw gewonnen moet worden, waardoor de voorraad hiervan afneemt. Daarom is voor deze bachelor eindopdracht onderzoek gedaan naar verschillende mogelijkheden om dit afvalpoeder te kunnen hergebruiken.

In dit verslag wordt eerst het poedercoatproces en het coating poeder uitgelicht in de hoofdstukken 2 en 3. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 het belangrijkste component van een coatingpoeder besproken, de verschillende soorten bindmiddelen die gebruikt worden bij het coatingbedrijf worden hier met elkaar vergeleken.

In hoofdstuk 5 worden de voorafgaand aan het onderzoek vastgestelde oplossingsrichtingen opgesomd, die in de hoofdstukken 6 tot en met 12 een voor een onderzocht worden op geschiktheid voor het verwerken van het coatingpoeder. Dit gebeurt door een combinatie van literatuuronderzoek en experimenten. Aan het eind van iedere oplossingsrichting wordt een conclusie en een aanbeveling gegeven.

Als laatste wordt een algehele conclusie gegeven, waarbij de verschillende oplossingsrichtingen gerangschikt worden van minst geschikt, naar meest bruikbaar om in de toekomst het restpoeder mee te verwerken.

1 Opdracht omschrijving

Probleem

Poedercoaten is een proces waarbij producten een beschermende laag krijgen door een kunststof poeder met elektrostatische lading op het oppervlak te sprayen. Niet al het poeder dat gebruikt wordt, komt op het te coaten product terecht. Het poeder dat niet gebruikt wordt, wordt afgezogen en gaat vervolgens in big bags onder de grond. Er wordt geschat dat de hoeveelheid restpoeder jaarlijks uit 2000 ton¹ bestaat, alhoewel deze hoeveelheid ieder jaar toeneemt. Omdat dit materiaal niet hergebruikt maar gestort wordt, worden de grondstoffen niet hergebruikt en moeten deze steeds opnieuw gewonnen worden en raakt de voorraad langzaam aan op.

Opdracht

Het doel van deze bachelor afstudeeropdracht is het onderzoeken van mogelijkheden tot hergebruik van het poedercoating restmateriaal. Mogelijke oplossingsrichtingen zijn het poeder verwerken tot matrix materiaal in een vezelversterkte kunststoffen, dat bijvoorbeeld gebruikt kan worden als rompmateriaal voor bootjes in vakantieparken of het als vulmiddel gebruiken in dashboards.

Bedrijven

Bij deze opdracht zijn een aantal belanghebbende bedrijven betrokken, waaronder de opdrachtgever: Van Gerrevink B.V. is gespecialiseerd in het professioneel recyclen en vernietigen van afvalstromen. Voor zowel particulieren als voor bedrijven en overheden doen ze aan het overslaan, sorteren, bewaren, vernietigen, verwerken en (tijdelijk) opslaan van onder andere papier, metaal, hout, kunststof en elektronica-afval.

Ook het poedercoatbedrijf is natuurlijk een belanghebbende, waar jaarlijks een grote massa aan poedercoatingafval vandaan komt. Voor deze kunststof afvalstroom wordt een oplossing gezocht. Daarnaast zijn er mogelijk afnemers van het materiaal als er een nieuw doel gevonden wordt voor het coatingpoeder. Deze kunnen het materiaal verwerken tot een nieuwe toepassing en hieruit winst halen.

¹ Schatting gebaseerd op een jaarlijkse poeder afname van 6000 ton met een afvalstroom van 30% (poedercoatbedrijf, 2016)

2 Poedercoaten

Om metalen onderdelen te beschermen en/of een kleur te geven met een beschermende lak, kunnen ze gepoedercoat worden. Bij dit proces wordt er geen gebruik gemaakt van natte metaal lak, maar wordt er droog poeder op het oppervlak gespoten. Poedercoaten kan worden gedaan met zowel thermoplastische als thermohardende polymeren. Het coatingpoeder waar het coatingpoeder bedrijf gebruik van maakt zijn thermoharders. Dit zijn voornamelijk epoxy, polyester en een klein gedeelte polyurethaan poeders. Daarnaast wordt er bij het poedercoatbedrijf ook gecoat met een hybride poeder, dat zowel epoxy als polyester bevat.

Het poedercoating proces bestaat uit een aantal stappen: het voorbehandelen van het oppervlak, het poedercoaten, moffelen (opwarmen in een oven), kwaliteitscontrole en als laatste het afhalen en verpakken (technische informatie over verschillende coatingtechnieken, n.d.) (poedercoatingproces, n.d.).

2.1 Voorbehandelen product

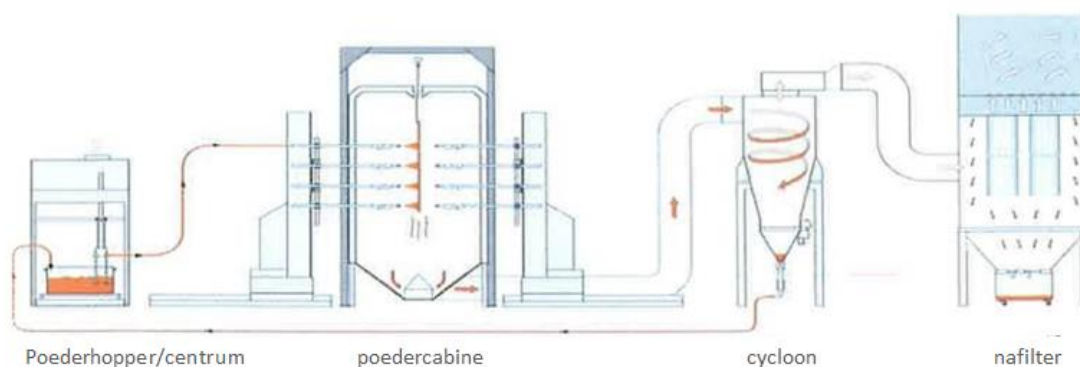
Bij de voorbehandeling van het oppervlak wordt het product gegritstraald om het vuil en vet te verwijderen en eventueel een textuur te geven. Daarna is het oppervlak klaar om gecoat te worden.

2.2 Poedercoaten

De producten worden door middel van de transportbaan naar de spuit cabine vervoerd. Hier worden ze bespoten met coatingpoeder. Door het product een positieve elektrostatische lading te geven en het poeder een negatieve lading, wordt het poeder door het elektrisch veld aangetrokken tot het product oppervlak en blijft dan plakken.

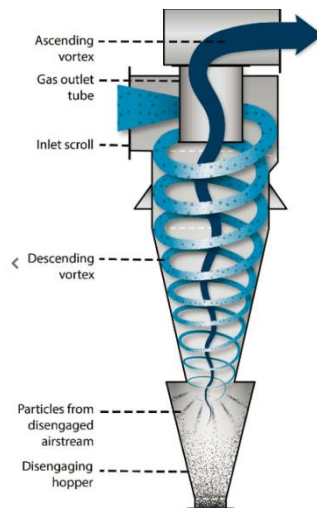
2.3 Afzuiging

Een deel van het poeder heeft een te kleine korrelgrootte. Deze deeltjes verliezen door hun afmeting hun elektrostatische lading. Het gevolg hiervan is dat dit poeder niet door het werkstuk aangetrokken wordt en op de vloer van de poedercabine belandt, te zien in figuur 1. Ook het poeder dat te ver van het werkstuk af gespoten wordt en het overschot aan poeder komt hier terecht. Vanaf de vloer van de poedercabine wordt het poeder afgezogen door middel van een afzuiginstallatie.



Figuur 1 poedercoat installatie (Beckerman, Klis, & Achterberg, 1997)

Dit is vaak een centrifugaal afscheider waarbij de opgezogen deeltjes door hun massa gescheiden worden. Zoals te zien is in figuur 2 worden de lucht en fijne deeltjes aan de bovenkant afgezogen als restpoeder. De grotere deeltjes komen aan de onderkant van de afzuiginstallatie in een filter terecht. In het filter worden ook de te grote deeltjes gescheiden en bij het afval poeder gevoegd. Het overige poeder wordt weer in het systeem gevoegd en kan opnieuw gebruikt worden bij het poedercoaten.



Figuur 2 Poeder cycloon (Cyclonic air classifiers/High efficiency cyclones, n.d.)

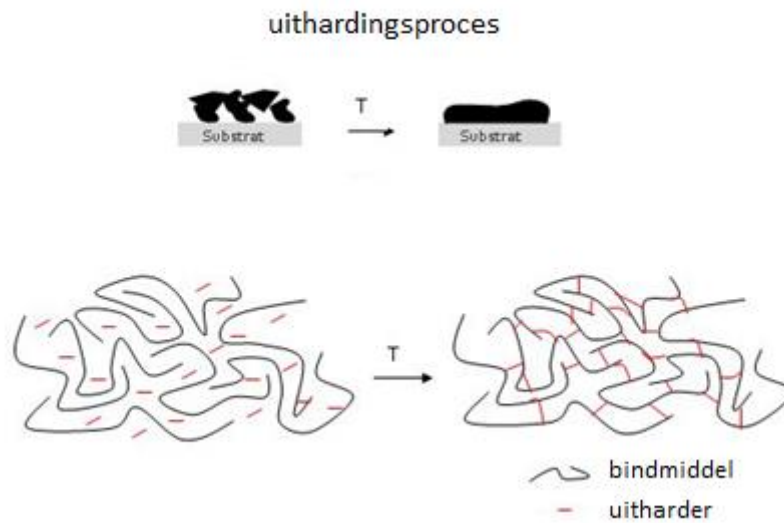
2.4 Poederwissel

Als er gewisseld wordt van coatingpoedersoort, moet eerst het vorige poeder uit het systeem gehaald worden, waarna het nieuwe poeder gebruikt kan worden. Dit gebeurt door in de poedercabine eerst het restant van het vorige poeder uit het systeem te spuiten voordat er een nieuwe poederbak aangesloten wordt in het poeder centrum.

Het schoonmaken van de hele spuitcabine is veel werk en kost tijd. Het poedercoatbedrijf coat vooral veel kleine series van producten waardoor er vaak gewisseld moet worden van product en poedersoort. Om te zorgen dat er niet te veel tijd verloren gaat, wordt de cabine niet bij iedere poederwissel schoongemaakt en de na-filter opvang niet iedere keer vervangen. Dit resulteert in afvalpoeder met een mix van allerlei kleuren en soorten poeders. De kleur van het poeder is iedere keer anders, maar neigt door de combinatie van veel verschillende kleuren vaak naar grijs/bruin.

2.5 Uitharden/moffelen

Nadat het product oppervlak volledig bedekt is met poeder worden de producten met de transportbaan naar een oven vervoerd. Hier wordt de poederlaag uitgehard. Dit proces wordt ook wel moffelen genoemd. Dit is een onomkeerbaar proces omdat door de opwarming de verharders in het poeder worden geactiveerd. Deze vormen daardoor crosslinks (figuur 3) met de polymeer ketens van de thermohardende kunststof, die voorkomen dat het materiaal weer vloeibaar wordt als het nog een keer opgewarmd wordt. Als de kunststof nu wordt opgewarmd zal het gaan degraderen in plaats van smelten. Deze eigenschap van thermohardende kunststoffen maakt recycling van het uitgeharde materiaal erg lastig.



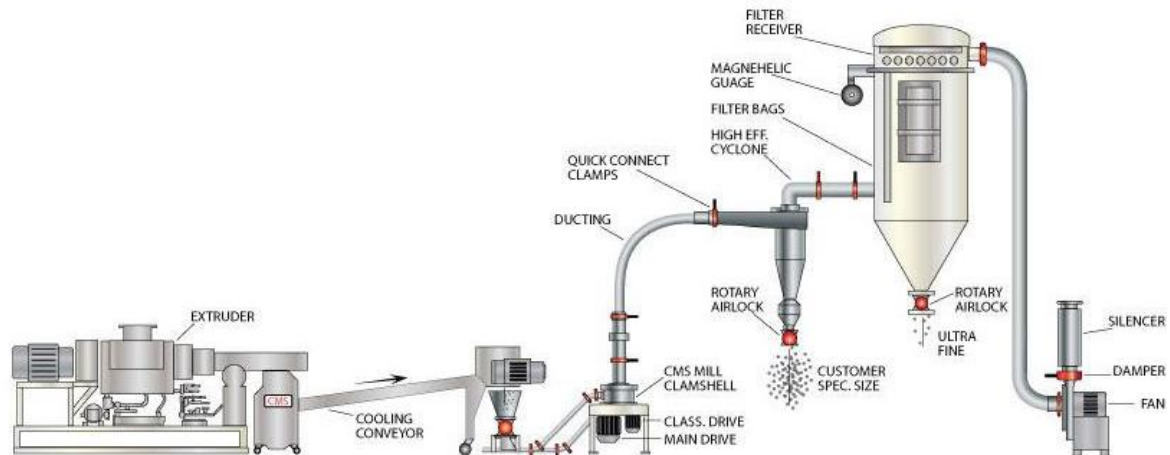
Figuur 3 Crosslinking process, afgeleid van (Filmbildung und Härtung, n.d.)

Tijdens het moffelen doorloopt het materiaal een aantal fases voordat het uitgehard is. De eerste fase is dat de poederlaag begint te smelten, hierdoor vloeit de elektrostatische lading weg en kleeft het poeder aan het oppervlak door adhesie. Daarna gaat het materiaal vloeien, waardoor de poederdeeltjes omgezet worden naar één massa en de gasinsluitingen verdwijnen. De volgende fase is geleren, dit is een tussenfase tussen de gesmolten toestand en de uitgeharde toestand. Dan begint de doorharding, waarbij volledige hechting ontstaat. Als laatste is de afkoeling, waarbij de hardheid van de coatinglaag nog iets toeneemt.

3 Het materiaal

3.1 Productie coatingpoeder

De productie van het coatingpoeder gebeurt in een aantal stappen: compounding (mischen van ingrediënten), extruderen, grinding en filteren (Biller, 2006), te zien in figuur 4.



Figuur 4 Poeder productie proces (Grinding & Classifying Systems, n.d.)

Compounding

De eerste stap van het produceren van coatingpoeder is compounding. Dit proces houdt in dat de juiste hoeveelheden van alle ingrediënten worden afgewogen en vervolgens bij elkaar worden gevoegd.

Extrusie

Vervolgens wordt de mix van ingrediënten omgevormd tot een plaat. Dit gebeurt door het mengsel te extruderen. Het is hierbij belangrijk dat het materiaal niet boven de uithardingstemperatuur komt. Hierdoor wordt het crosslinking proces namelijk gestart waardoor er stukjes uitgehard plastic in de coatinglaag terecht komen (Oxyplast, 2016).

Grinding

Om het plaatmateriaal om te zetten naar een fijn poeder, wordt het eerst in kleine chips gebroken. Deze worden vervolgens in een grinder tot een fijn poeder vernalen (poedercoatingproces, n.d.). Omdat de deeltjes een standaard afmeting moeten hebben blijven de te grote deeltjes langer in de grinding machine en worden de te kleine deeltjes uit het poeder gefilterd. De goedkopere coatingpoeders hebben vaak een bredere verdeling van korrelgrootte. De duurdere poeders worden beter gefilterd en hebben daarom een constantere korrelgrootte.

Als laatste wordt het poeder in dozen of big-bags opgeslagen en kan het verkocht worden aan poedercoatingbedrijven.

3.2 Samenstelling

Coatingpoeder is een mix van zes soorten basis componenten. Dit zijn: bindmiddel of hars, verharder, pigmenten, additieven, post-additieven en extenders of vulstoffen (Beckerman, Klis, & Achterberg, 1997) (What's in a powder coating?, n.d.) (Nadeem, n.d.).

Bindmiddel

Dit is de hoofdcomponent van het coatingpoeder. Het zijn de basis polymeer ketens die alle andere componenten bij elkaar houden. Deze ketens hebben het meeste invloed op de eigenschappen van het poeder. Voor poedercoaten zijn het thermoplasten of thermoharders. Bij het poedercoatbedrijf worden verschillende thermoharders gebruikt: epoxy, polyester, polyurethaan en een epoxy-polyester mix.

Verharder

De verharder is de stof die tijdens het uitharden van de coating de crosslinks vormt tussen de polymeerketens. Hierdoor veranderen de losse poederdeeltjes in een egale lak. Dit proces is onomkeerbaar en kenmerkend voor thermoharders. Als de crosslinks eenmaal gevormd zijn door een chemische verbinding, kunnen ze niet meer los. Het materiaal zal bij een latere opwarming dan ook niet vervormen, het zal degraderen in plaats van smelten. De keuze van de verharder wordt bepaald door de gewenste uithardingseigenschappen, de chemische en mechanische eigenschappen en de glanseigenschappen. Elke hars-verharder combinatie heeft eigen karakteristieke uitharding.

Pigmenten

Pigmenten wordt toegevoegd om het poeder de gewenste kleur te geven. Pigmenten hebben echter meer functies dan alleen het toevoegen van de kleur, zo kunnen ze bijvoorbeeld extra buitenduurzaamheid, chemicaliënbestendigheid, temperatuurbestendigheid of dekkraft geven aan een coating (Tracton, 2006).

Additieven

Additieven worden toegevoegd aan het materiaal om bepaalde eigenschappen toe te voegen aan het materiaal. Hierbij moet wel opgelet worden dat additieven vaak meerdere eigenschappen beïnvloeden waarvan niet alle gewenst zijn. Voorbeelden van additieven zijn vloeimiddel, ontgassingsmiddel, matteringsmiddel en oppervlaktehardheid-additieven. De laatste twee beïnvloeden intercoat-hechting bij een meer-lagen systemen (Nadeem, n.d.).

Post-additieven

De post-additieven voorkomen het samenklonteren van het poeder. Ze worden in tegenstelling tot de andere additieven pas toegevoegd als het materiaal wordt omgezet tot het een poedervorm heeft en worden daarom ook post-additieven genoemd (What's in a powder coating?, n.d.).

Extenders

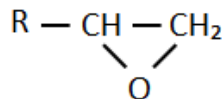
Extenders worden toegevoegd aan het poeder om het extra duurzaam te maken. Degradatie van het materiaal wordt namelijk veroorzaakt door afname in moleculair gewicht, waardoor belangrijke materiaaleigenschappen afnemen. Dit kan voorkomen worden door extenders toe te voegen aan de polymeerketens (Karayan, 2007). Een andere reden om extenders toe te voegen is dat ze zorgen dat het materiaal minder glimt (What's in a powder coating?, n.d.).

4 Bindmiddelen

Zoals eerder vernoemd, bestaat een coatingpoeder uit verschillende bestanddelen. De thermohardende bindmiddelen zijn het hoofdbestanddeel van de coating. Bij het poedercoatbedrijf worden voornamelijk poeders gebruikt met als basis epoxy, polyester, polyurethaan of een epoxy-polyester hybride. De verhouding van het gebruik van de verschillende coatingpoeders is bij het coatingbedrijf bij benadering 50% polyester, 40% hybride poeders, 5% epoxy primers en 5% polyurethaan (poedercoatbedrijf, 2016). Bij sommige bedrijven worden ook poeders met een acryl basis gebruikt, maar aangezien dit niet gebruikt wordt bij dit poedercoatbedrijf, zal er geen acryl in de reststroom zitten. Daarom worden poeders met een acryl basis niet verder behandeld in dit project.

4.1 Epoxy

Epoxy of polyepoxide is een polymeer dat een ringvormige structuur bevat met een zuurstofatoom (O) en twee koolstofatomen (C) (Epoxy plastics' general chemical and physical properties), zoals te zien in figuur 5.



Figuur 5 structuur epoxy

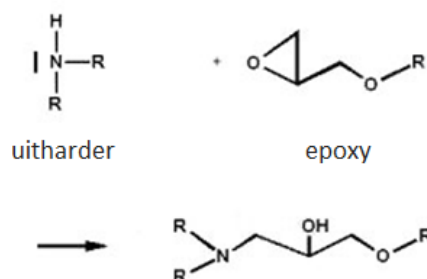
Eigenschappen

Epoxy coatings zijn duurder dan polyester en hybride poeders. Ze hebben de grootste mechanische sterkte van deze thermoharders. Epoxy wordt ook wel vaak als primer gebruikt, onder andere vanwege de goede waterdichtheid. Epoxys worden vrijwel niet gebruikt in buitentoepassingen (zonder extra bovenlaag), omdat ze slecht tegen UV-licht kunnen (Beckerman, Klis, & Achterberg, 1997) (Duin, n.d.).

Toepassingen

Omdat epoxy een stevig lichtgewicht materiaal is wordt het onder andere veel gebruikt in de sport en vrijetijdsindustrie. Maar bijvoorbeeld ook in helikopter en windtunnel propeller bladen. Daarnaast wordt epoxy gebruikt in high-voltage insulators vanwege de goede elektrische weerstand (Beckerman, Klis, & Achterberg, 1997).

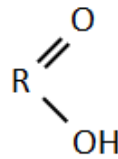
Uithardingsreactie



Figuur 6 Uitharding epoxy, afgeleid van (Filmbildung und Härtung, n.d.)

4.2 Polyester

Polyester is een polymeer dat, zoals de naam al indiceert, ester bindingen bevat (Beckerman, Klis, & Achterberg, 1997).



Figuur 7 structuur van een polyester

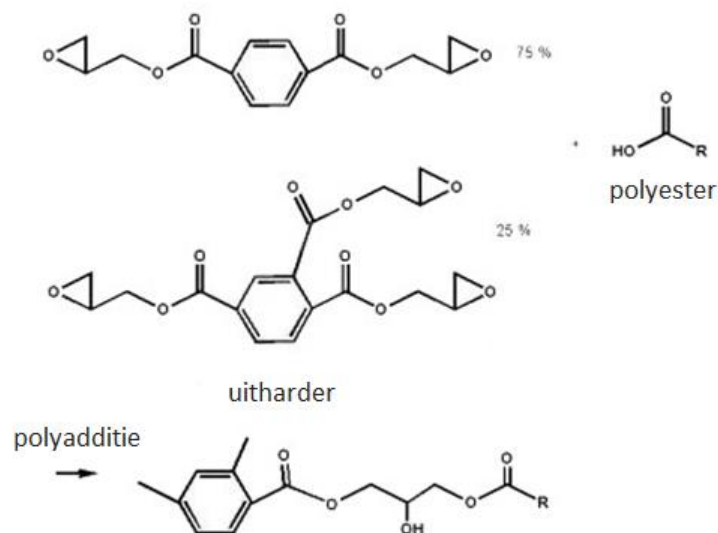
Eigenschappen

Polyester coatings worden vaak gebruikt voor het coaten van buitentoepassingen (Duin, Polyester Powder Coatings, n.d.). Dit is omdat polyester goede weersbestendigheid, goede weerstand tegen corrosie en een lange levensduur heeft. Polyester is goedkoper dan epoxy en polyurethaan.

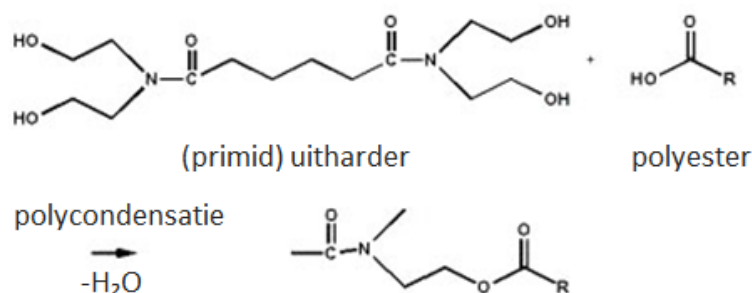
Toepassingen

Polyester heeft goede chemische eigenschappen om buiten gebruikt te worden, zoals goede UV bestendigheid en goede weerstand tegen erosie. Het wordt daarom veel gebruikt voor het coaten van buitentoepassingen, zoals boot rompen, bouwplaten, dakbedekking, truck cabines, schepen en automotive onderdelen.

Uithardingsreactie



Figuur 8 uitharding polyester, afgeleid van (Filmbildung und Härtung, n.d.)



Figuur 9 uitharding polyester met primid uitharder, afgeleid van (Filmbildung und Härtung, n.d.)

4.3 Hybride coating

Een hybride coatingpoeder bevat zowel polyester als epoxy als bindmiddel. Niet alle polyesters gaan goed samen met een epoxy, maar sommige soorten kunnen gecombineerd worden om een epoxy goedkoper en weersbestendiger te maken.

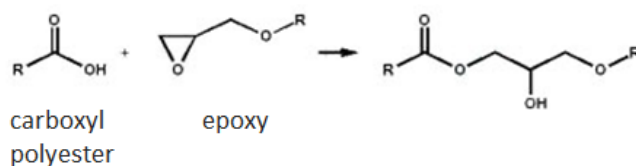
Eigenschappen

Een hybride poeder is goedkoper dan epoxy en polyester. Het is dan ook de goedkopere variant met mindere eigenschappen voor toepassingen met minder hoge eisen (Oxyplast, 2016) (Beckerman, Klis, & Achterberg, 1997).

Toepassingen

Qua eigenschappen lijkt een hybride coating het meeste op een epoxy coating, de coatings zijn sterk en flexibel. Het verschil is vooral de toename in weerbestendigheid vergeleken met epoxy. Hybride coatings worden dan ook veel gebruikt in toepassingen waar ook epoxys voor gebruikt worden (Duin, Epoxy-Polyester Hybrid Powder Coatings, n.d.).

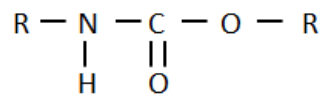
Uithardingsreactie



Figuur 10 uitharding hybrid, afgeleid van (Filmbildung und Härtung, n.d.)

4.4 Polyurethaan

Polyurethaan is een polymeer dat bestaat uit twee componenten. Een hard segment, dat eindigt met een of meer NCO-groepen en een zacht segment, dat een of meer OH-groepen bevat (Goodman & Dodiuk-Kenig, 2014) (Polyurethanes, 2013).



Figuur 11 structuur polyurethaan

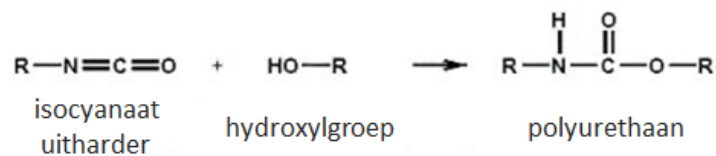
Eigenschappen

Polyurethaan is een copolymeer dat uit twee componenten bestaat: een hard gedeelte en een zacht gedeelte. Door de combinatie van deze twee delen heeft polyurethaan de beste eigenschappen van deze twee. Zo kan het zowel buigzaam zijn als sterk en slijtvast (Polyurethaan, n.d.).

Toepassingen

Polyurethaan wordt voornamelijk gebruikt als anti-graffiti laag omdat er geen adhesie kan plaatsvinden tussen verf en een polyurethaan coating. Polyurethaan wordt ook gebruikt in autolakken vanwege de krasvastheid (sterk), steenslagbestendigheid (flexibel) en goede glans (Beckerman, Klis, & Achterberg, 1997).

Uithardingsreactie



Figuur 12 uitharding polyurethaan, afgeleid van (Filmbildung und Härtung, n.d.)

5 Oplossingsrichtingen

Om de mogelijkheden te onderzoeken om het coatingpoederafval te kunnen hergebruiken, zijn vooraf aan het onderzoek verschillende mogelijke oplossingsrichtingen gesteld die onderzocht worden.

Uitharden:

Een van de oplossingsrichtingen is het uitharden van het materiaal. Omdat het poeder voornamelijk bestaat uit thermoharders kan het uitgehard worden zodat het een vaste stof wordt in plaats van een poedervorm. Op deze manier kan het poeder mogelijk verwerkt worden tot producten die gemaakt zijn van thermoharders.

Uitharden met vezels:

Een veel gebruikte toepassing voor thermoharders als epoxy en polyester is het gebruiken van de kunststoffen in combinatie met vezels, als matrixmateriaal in vezelversterkte composieten. Een combinatie van thermoharders met vezels geeft het uiteindelijke materiaal de hoge taaheid van het plastic heeft dat versterkt wordt door de vezels. Hiervoor moeten de thermoharders wel goed uitgehard kunnen worden, de resultaten van de oplossingsrichting uitharden hebben invloed op deze oplossingsrichting.

Primer:

Als het mogelijk is om het poeder opnieuw te gebruiken als coatingpoeder zou het poeder gebruikt kunnen worden als primer. Dit is de basis laag die extra bescherming tegen bijvoorbeeld water en slijtage biedt en waar een poeder met een andere kleur bovenop kan.

Fillers:

Fillers zijn deeltjes die toegevoegd worden aan materiaal om de eigenschappen van het materiaal te verbeteren, te zorgen dat er minder bindmiddel toegevoegd hoeft te worden of om bepaalde materiaaleigenschappen te verbeteren (Filler (materials), 2015). Fillers worden vaak gebruikt om kosten te besparen omdat ze goedkoper zijn dan bijvoorbeeld bindmiddel.

Poeder:

Omdat het restmateriaal een poedervorm heeft, is ook gekeken naar de verwerkingsmogelijkheden vanuit bestaande processen die poeders kunnen verwerken en of deze geschikt zijn voor het verwerken van het restpoeder tot een nieuw product.

Pigment:

Een van de redenen dat het poeder niet hergebruikt kan worden, is de kleur die het poeder heeft. Door het samenvoegen van de verschillende poeders ontstaat een bruinig poeder dat bij iedere batch restpoeder verschilt. Een mogelijkheid om dit probleem te verhelpen zou het toevoegen van pigment kunnen zijn. Op deze manier kan de kleur van het poeder mogelijk aangepast worden naar de gewenste kleur. Het tegenovergestelde van het toevoegen van pigment is het verwijderen van het pigment. Ook hierdoor zou het materiaal mogelijk aangepast kunnen worden zodat het de gewenste kleur krijgt.

Recycling:

Nadat het poeder verwerkt is tot bijvoorbeeld een product, kan het alsnog gestort worden. Daarom wordt ook gekeken naar de stap na het gebruik. Als het poeder hergebruikt kan worden hoeft het niet meer opgeslagen te worden en wordt de levensduur van het materiaal langer. Dit maakt alleen de cirkel nog niet rond, maar verplaatst het probleem. Nadat het materiaal verwerkt en hergebruikt is, wordt het waarschijnlijk weer opnieuw gestort of verbrand. Daarom is het belangrijk om ook uit te zoeken of er na gebruik van het materiaal het gerecycled kan worden.

6 Uitharden

Het restpoeder bestaat voornamelijk uit nog niet uitgeharde thermoharders en de daarbij horende uitharders. Daarom wordt gekeken naar hoe het materiaal uit gehard kan worden en wat de materiaaleigenschappen zijn van het uitgeharde materiaal. Hiervoor is eerst literatuuronderzoek gedaan naar de bestaande productiemethoden voor thermoharders (Goodman & Dodiuk-Kenig, 2014), bijlage 6.1. Aan de hand van deze productiemethoden kunnen de testdoelen bepaald worden.

6.1 Testdoelen

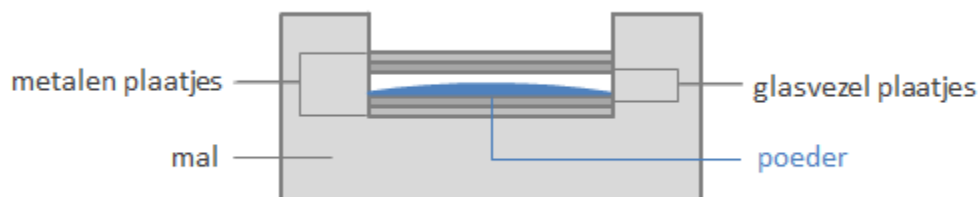
Voordat de testen gedaan worden, zijn de testdoelen vastgesteld. Zo moeten de uithardingsparameters bepaald worden, zoals de tijd en temperatuur. Daarnaast moeten de uithardingsomstandigheden bepaald worden, deze beïnvloeden de keuze van verwerkingsmethode. Ook de eigenschappen van het uitgeharde materiaal zijn belangrijk. Als deze namelijk niet goed zijn, heeft het ook geen zin om het materiaal verder te gebruiken. Als het materiaal wel goed uit te harden is, kan gekeken worden naar welke productiemethoden gebruikt kunnen worden om het poeder te verwerken.

6.2 Experimenten

De volledige beschrijvingen van de experimenten zijn te vinden in bijlage A. In het verslag zelf wordt een beknopte versie gegeven van de testen, de resultaten en de conclusies.

Eerste uitharding

Om erachter te komen of het restpoeder kan uitharden, wat de uithardingsparameters zijn en wat de eigenschappen van het uitgeharde poeder zijn, wordt bij de eerste test wat poeder uitgehard in een oven. Eerst wordt er een nieuw poeder uitgehard volgens de richtlijnen op de bijgeleverde datasheets (Bijlage B6.2/6.3). Dit is om een idee te krijgen van de uithardingsparameters en materiaaleigenschappen van een nieuw poeder, hierop kunnen later de uithardingsparameters van het restpoeder worden gebaseerd. Om te voorkomen dat het poeder gaat verstuiven in de oven, wordt het poeder verdeeld in een dichte matrix gelegd, te zien in figuur 13.



Figuur 13 schematische weergave mal

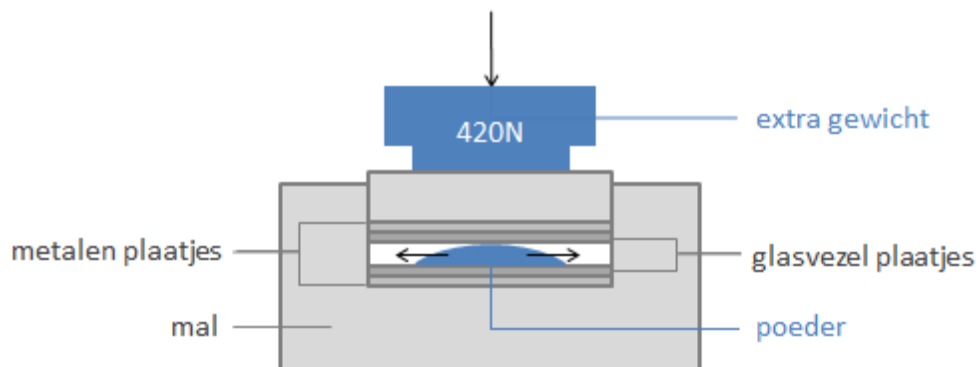
Tijdens het uitharden is een erg bros plaatje ontstaan met erg veel luchtbelletjes (figuur 14). Dit komt waarschijnlijk doordat er lucht opgesloten zit in een dichte mal. Op deze manier het poeder uitharden werkt niet goed.



Figuur 14 uitgehard epoxy-polyester

Extra druk

Met de verwachting de luchtbellenvan te gaan en zo het materiaal minder bros te maken, is vervolgens dezelfde test een aantal keer herhaald met aanpassingen. Zo is het poeder niet verdeeld over de mal, maar in een bergje verzameld in het midden om de vloeit te bevorderen en vervolgens is er extra gewicht bovenop de mal geplaatst om de lucht uit de mal te duwen, figuur 15.

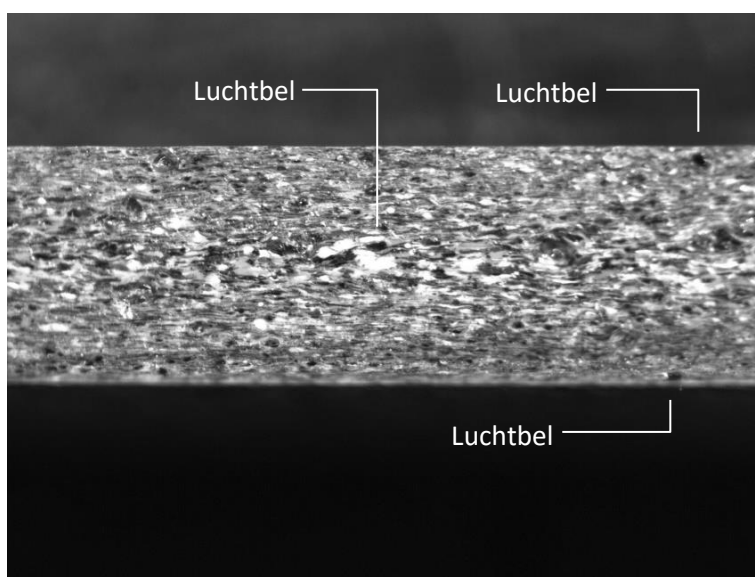


Figuur 155 schematische weergave mal met gewicht

Deze aanpassingen hebben wel bijgedragen in de afname van het aantal luchtbellenvan, maar in de microscoop afbeelding van een doorsnede van het uitgeharde restpoeder plaatje (figuur 16) zijn nog steeds kleine luchtbellenvan te zien, figuur 17.

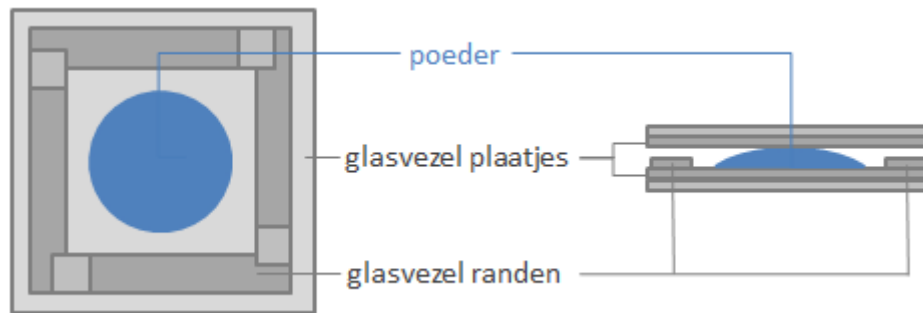


Figuur 16 uitgehard restpoeder



Figuur 17 vergroting (10x) met luchtballen

Door het toevoegen van extra gewicht neemt het aantal en de grootte van de luchtballen erg af, hier kan geconcludeerd worden dat extra druk toevoegen helpt bij het voorkomen van luchtballen. Daarom is vervolgens een pers gebruikt om nog meer druk toe te voegen met de verwachting alle luchtballen uit het materiaal te verwijderen. Hiervoor is een ander mal gebruikt, figuur 18, omdat de hiervoor gebruikte mal opstaande randen heeft die de druk van de persplaten tegenhouden.



Figuur 18 schematische weergave boven- en zijaanzicht mal

Doordat de pers teveel druk geleverd heeft, is het restpoeder tijdens het uitharden uit de mal en in de malranden van glasvezel gevloeid, figuur 19. Hierdoor is te zien dat het uitgeharde restpoeder in combinatie met de vezels minder bros is. Maar zodra het materiaal iets gebogen wordt, breekt het matrixmateriaal alsnog en wordt het bij elkaar gehouden door de vezels.



Figuur 19 uitgehard restpoeder

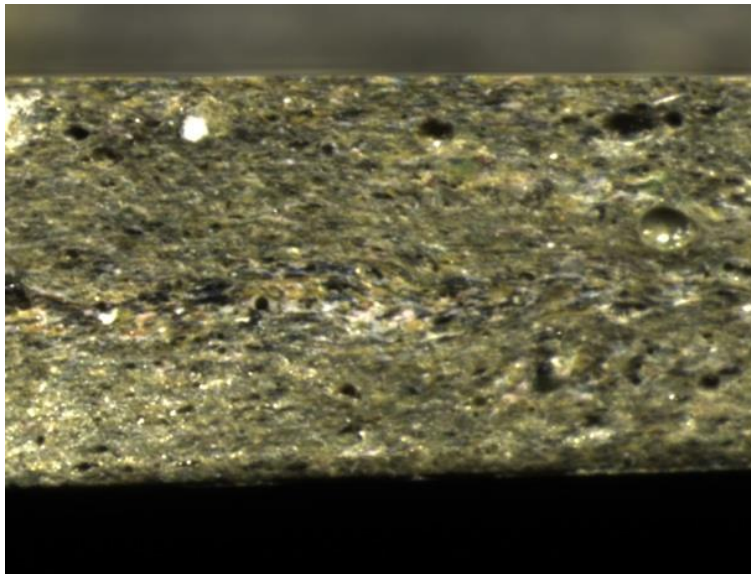
Anti foam

Vervolgens is een anti-foam additief toegevoegd tijdens het uitharden van het restpoeder in de oven, om te zien of dit de luchtbelvorming kan voorkomen. Bij het poedercoat proces worden namelijk soms anti-foaming additieven gebruikt om luchtbelvorming te voorkomen bij het coaten van poreuze metalen. Dit is omdat een anti-foam een wasachtig additief is dat ervoor zorgt dat de vloeifase langer duurt. Hierdoor krijgt de lucht tijdens het uithardingsproces langer de tijd om te ontsnappen uit de poriën van het metalen oppervlak. Om erachter te komen of het verlengen van de vloeifase helpt in het tegengaan van de luchtbelletjes, wordt aan het restpoeder een anti-foam additief toegevoegd waarna het uitgehard wordt.

Naast dat het additief niet goed te mengen was met het restpoeder, zorgde het ook niet voor een afname in luchtbelvorming, zoals te zien is in de microscoop afbeelding, die te zien is in figuur 21, van de doorsnede van het uitgeharde plaatje, figuur 20. Een langere vloeifase draagt niet bij aan het verminderen van de luchtbelvorming.



Figuur 20 uitgehard restpoeder met anti-foam



Figuur 21 vergroting 10x met luchtballen en anti-foam

Geltime-test

Om te controleren of de brosheid van het uitgeharde restpoeder ligt aan de luchtballen of aan het restpoeder zelf, wordt een geltime-test gedaan, op advies van de chemicus van Oxyplast. Hierbij wordt een kleine hoeveelheid poeder verwarmd boven een warmtebron van 200°C en doorgeroerd tot de gelfase overgaat in de harde fase, dus tot het poeder uitgehard is.

Voor deze test werd zowel restpoeder als nieuw polyester poeder gebruikt om het uitgeharde materiaal te kunnen vergelijken op brosheid.

Het duurde vrijwel even lang voor beide poeders om uit te harden. Het polyesterpoeder verandert daarna in een sterk materiaal (figuur 22), maar het restpoeder (figuur 23) is nog steeds bros. Het ligt dus niet aan een onvolledige uitharding of luchtballen dat het poeder zo bros is.



Figuur 22 polyesterpoeder na geltimetest



Figuur 23 restpoeder na geltimetest

Restpoederbatch controle

Omdat bij de voorgaande experimenten iedere keer dezelfde batch restpoeder gebruikt is, wordt nu behalve het hiervoor gebruikte restpoeder, ook een andere batch uitgehard. Op deze manier wordt gecontroleerd of de resultaten van de voorgaande testen niet afhangen van deze specifieke batch restpoeder. De twee soorten restpoeder die vergeleken worden met elkaar, worden tijdens deze test ook vergeleken met een nieuw poeder.

Hiervoor zijn drie verschillende metalen bakjes gevuld met poeder: een met het hiervoor gebruikte restpoeder, een met ander restpoeder en een met nieuw poeder ter vergelijking.

Zoals te zien is in figuur 24 reageren de twee restpoeders hetzelfde, er is veel luchtvorming en ze zijn bros. Het nieuwe poeder geeft een gladde kunststof laag die niet bros is.



Figuur 24 uitgeharde poeders

De eigenschappen van het nieuwe uitgeharde poeder zijn erg goed, ondanks de dikte van de laag. Dit suggereert dat als het poeder gescheiden wordt op materiaal, het mogelijk wel gebruikt kan worden

om thermohardende producten mee te maken en als matrix materiaal voor vezel versterkte kunststoffen te gebruiken.

Overzicht testen

Test, bijlage A	Aanpassing	Materiaal	Luchtbellen	Bros
6.1	poeder verdeeld in mal	epoxy-polyester	veel grote en kleine luchtbellen	v
6.2	poeder in midden van mal	polyester	veel grote luchtbellen	v
6.3	met bovenkant mal	restpoeder 1	kleine luchtbellen onder oppervlak	v
6.4	met extra gewicht (420N)	restpoeder 1	luchtbellen zichtbaar onder microscoop	v
6.5	pers	restpoeder 1	luchtbellen zichtbaar onder microscoop	v
6.6	anti-foam additief	restpoeder 1	kleine luchtbellen onder oppervlak	v
6.7	anti-foam additief, extra gewicht	restpoeder 1	luchtbellen zichtbaar onder microscoop	v
6.8	gel time test	polyester	-	X
		restpoeder 1	-	v
6.9	controle test	polyester	vrijwel geen luchtbellen	X
		restpoeder 1	veel luchtbellen	v
		restpoeder 2	veel luchtbellen	v

Tabel 1 Overzicht van uithardingstesten

6.3 Conclusie uitharden

De slechte materiaaleigenschappen van het uitgeharde restpoeder liggen niet aan de uithardingsparameters, maar aan de combinatie van verschillende coatingpoeders die slecht met elkaar reageren. Door de mix van verschillende soorten poeders ontstaat er een bros materiaal, dit is waarschijnlijk omdat er verschillende soorten uitharders en bindmiddelen inzitten die niet met elkaar kunnen crosslinken. Want ondanks dat sommige polyesters wel met epoxy kunnen uitharden, gaat dit niet op voor alle typen polyester.

6.4 Aanbeveling uitharden

De resultaten van de laatste test (bijlage A, test 6.9) indiceren dat het uitharden van gescheiden poeders wel een stevig uitgehard materiaal kan opleveren. In de toekomst zou er gekeken kunnen worden naar het aanpassen van het poedercoatproces om de poeders toch gescheiden te kunnen krijgen op thermoharder. Mocht het mogelijk zijn om het materiaal gescheiden te krijgen, kan opnieuw gekeken worden naar wat de uithardingsparameters zijn, of het poeder gebruikt kan worden met de voorgestelde productie methoden en of de materiaal eigenschappen voldoende zijn om het restpoeder te gebruiken in toepassingen voor thermoharders.

7 Uitharden met vezels

Net als bij het onderzoek naar het uitharden van het materiaal gedaan is, is bij het onderzoek naar het uitharden met vezels eerst literatuuronderzoek gedaan naar de bestaande productiemethoden voor vezelversterkte kunststoffen. Deze zijn te vinden in bijlage B7.

7.1 Uithardingsproblemen

Tijdens het onderzoek naar het uitharden van het poeder bleek dat de mechanische eigenschappen van het restpoeder erg slecht zijn. Het materiaal is erg bros en kan daarom niet gebruikt worden om producten mee te maken. Tijdens de test waarbij het poeder uitgehard werd in de grote pers (Bijlage A, test 6.5), vloeiende het poeder in de malranden die gemaakt waren van glasvezelvellen. De vezels maakte het materiaal iets minder bros dan zonder vezels, waardoor het niet meteen uit elkaar viel. Maar bij een lichte buiging brak het matrixmateriaal alsnog en werden de losse stukken kunststof bij elkaar gehouden door de vezels.

7.2 Conclusie uitharden met vezels

Door de uithardingsproblemen die ontstaan als gevolg van een mix van coatingpoeders is het restpoeder niet te gebruiken als matrixmateriaal voor vezelversterkte composieten. Ondanks dat de vezels het materiaal verstevigen, zijn de eigenschappen van het materiaal niet voldoende om te gebruiken. Daarnaast ontstaan veel luchtbellende materialen die eigenschappen niet bevorderen, zoals te zien was in de voorgaande testen. Het vormen van luchtbellende materialen kan waarschijnlijk worden tegengegaan door de laminaten te maken met behulp van een vacuümzak, maar dit lost het probleem van de brosheid van het materiaal niet op.

7.3 Aanbeveling uitharden met vezels

In de restpoederbatch controle test (Bijlage A, test 6.9) was te zien dat het nieuwe, zuivere poeder veel beter uithardde dan het restpoeder. Als er een mogelijkheid zou zijn om het restpoeder te scheiden op materiaal soort, wordt onderzoek aanbevolen naar het verwerken van een poeder in vezel versterkte kunststoffen. De materiaaleigenschappen van het nieuwe poeder zijn namelijk beter: er is veel minder luchtvorming en de uithardingsparameters zijn beter te controleren. Het vervolgonderzoek zou zich dan vooral moeten richten op de juiste productiemethode die de poedervorm kan verwerken en welke vezels geschikt zijn. Een mogelijke oplossingsrichting die voor het project bedacht was, was het gebruiken van het poeder als matrixmateriaal samen met gerecyclede papier vezels om zo een volledig gerecycled materiaal te maken voor de rompen van bootjes in vakantie parken. Deze optie kan bij gescheiden poeder opnieuw bekeken worden, alhoewel tijdens literatuur onderzoek naar vezels al bleek dat papiervezels uitzetten bij contact met water (Brouwer, n.d.). Daarom zou ik het gebruik hiervan afraden in een toepassing zoals bootjes. Als het vezelversterkte materiaal zou beschadigen zouden de vezels namelijk nat kunnen worden en kunnen gaan uitzetten, waardoor kan het matrixmateriaal mogelijk stuk kan gaan, maar dit heeft meer onderzoek nodig.

8 Primer

Een primerlaag is een onderlaag die gebruikt wordt om een betere adhesie tussen het materiaal en de verflaag te creëren. Het gebruiken van een primer verhoogt de levensduur van de verflaag en biedt meer bescherming voor het materiaal oppervlak, bijvoorbeeld tegen water.

De hechting tussen de primerlaag en de toplaag wordt gevormd door crosslinks tussen de polymeren van de twee lagen. Voordat de toplaag aangebracht kan worden, moet de primerlaag al hechten aan het metalen oppervlak, daarom wordt deze laag eerst deels uitgehard. Het is belangrijk dat de primerlaag in deze fase niet helemaal uithardt, want hierdoor worden alle crosslinks al gevormd. Als dit het geval is kunnen er geen crosslinks meer gevormd worden tussen de primerlaag en de toplaag, waardoor er geen goede hechting is tussen de lagen.

8.1 Testdoelen

Voorafgaand aan de testen is vastgesteld wat er met de testen onderzocht moet worden, dit zijn de testdoelen. Zo moet bepaald worden of de adhesie tussen het metalen oppervlak, de restpoeder primer laag en de dekkende laag voldoende is om te gebruiken. En ook of de dekkende bovenlaag voldoende de kleur van het restpoeder verbergt en of de lagen voldoen aan de eisen die gesteld worden aan primers. Daarnaast wordt er ook bepaald of het restpoeder zonder bovenlaag gebruikt kan worden.

8.2 Experimenten

Primer laag op metaal

Om erachter te komen of het restpoeder nog opnieuw gebruikt kan worden als coatinglaag, worden drie metalen plaatjes gecoat met restpoeder en daarna uitgehard. Vanwege de onbekende samenstelling van het restpoeder worden de drie plaatjes uitgehard met drie verschillende tijden, 10, 15 en 20 minuten. Nadat de het restpoeder is uitgehard en afgekoeld wordt de hechting tussen de coatinglaag en het metaal bepaald door met een stanleymes ruitjes te snijden in het oppervlak. Bij geen van de drie plaatjes bladert de laag eraf, wat betekent dat alle drie de lagen een goede hechting hebben met de metalen onderlaag.

Doordat het restmateriaal erg bros bleek te zijn na het uitharden, was de verwachting dat de primercoating makkelijk zou afbladeren. Toch bleek dit niet zo te zijn, dit komt waarschijnlijk omdat het restpoeder hierbij dus niet goed aan elkaar hecht, maar wel los van elkaar aan het metalen oppervlak hecht. Het oppervlak van de coatinglaag voldoet niet aan de eisen die normaal aan een coating gesteld worden: er bevinden zich stofdeeltjes en kraters aan het oppervlak. De stofdeeltjes zitten in het poeder omdat het tijdens het afzuigen vervuild wordt. De kraters kunnen worden verklaard door de aanwezigheid van water in het restpoeder dat tijdens het uitharden verdampt of door dat er lucht ontstaat bij de uithardingsreactie met de verschillende poeders, net als bij de voorgaande uithardingstesten te zien was.

Toplaag over primerlaag

Omdat alleen het restpoeder als coating geen mooi oppervlak of de goede kleur heeft, wordt er getest of er een extra laag bovenop de restpoeder primerlaag kan. Hiervoor werd op een van de

plaatjes van de vorige test een extra laag glad buitenbestendig polyester gespoten. De keuze viel op dit materiaal omdat er op dat moment net een lijn hiermee werd gespoten. Dit is ook handig om de doorschijnendheid van de onderlaag te kunnen vergelijken met de andere producten die maar 1 laag polyester krijgen.

De toplaag van polyester heeft een goede hechting met de primerlaag bleek na de hechtingstest met een stanleymes, ook de dekkraft van de toplaag was erg goed. Deze resultaten hangen alleen beide af van de keuze van de toplaag. De dekkraft hangt namelijk voornamelijk af van de kwaliteit en de laagdikte van de toplaag en niet aan de onderlaag. Dat de toplaag goed aan de onderlaag hecht is waarschijnlijk omdat er in het restpoeder epoxy aanwezig is dat aan het polyester uit de toplaag hecht. De hechting tussen een restpoeder primer en een toplaag ligt dus waarschijnlijk aan de soorten poeders die in het restpoeder zitten en de toplaag die gebruikt wordt. Als het restpoeder als primer gebruikt zou gaan worden, moet er bij iedere batch tevoren getest worden wat de samenstelling is, voordat het gebruikt kan worden.

Verflaag over restpoeder primer

Omdat het niet zeker is dat iedere soort coatingpoeder als top laag op de restpoeder primer gebruikt kan worden, is gekeken naar een toplaag van verdunning BFG 271, veiligheidsblad in bijlage B8.

Op een van de plaatjes uit de eerste primer test (Bijlage A, test 8.1) is een laag normale verf aangebracht. Nadat deze laag opgedroogd was, is een hechtingstest gedaan. Hierbij bladerde de bovenste verflaag er erg makkelijk af. Er is geen goede hechting tussen de restpoederprimer en de verf. Dit is waarschijnlijk omdat er geen bindingen worden gevormd vanuit beide lagen, de primer laag zou eerst verwarmd moeten worden om crosslinks te vormen, als die al een binding kunnen aangaan met de bovenste laag. En de bovenste laag is niet bedoeld om te hechten op plastics, maar voor metalen. Als er een verflaag gebruikt moet worden bovenop een restpoederprimer laag, moet de hechting volledig vanuit de toplaag komen, aangezien het restpoeder zonder verwarmt te worden geen reactie aangaat.

8.3 Conclusie primer

Een restpoeder coatinglaag heeft voldoende hechting om gebruikt te kunnen worden als primer. De oppervlakte kwaliteit van de restpoeder primer is minder door stofdeeltjes en de vorming van kraters. Om de stofdeeltjes eruit te halen zou het restpoeder gefilterd kunnen worden en om de kraters te voorkomen kan het poeder gedroogd worden, maar dit proces maakt de keuze voor restpoeder weer duurder. Ook moet iedere restpoeder batch vooraf getest worden op samenstelling als er nog een laag overheen moet, aangezien niet alle poeders aan elkaar hechten.

8.4 Aanbeveling primer

Aan de hand van de resultaten van de experimenten zou aanbevolen kunnen worden dat het restpoeder als primer gebruikt kan worden, de hechting is voldoende. Toch zullen veel bedrijven niet voor een restpoeder als primer kiezen. Dit is omdat de kosten van een primer vooral komen van het aanbrengen van de primer en niet van het materiaal. Het prijsverschil tussen een normale primer en het restpoeder als primer zal dan ook minimaal zijn. Daarbij komen dan nog de kosten van het filteren van het restpoeder en het testen op samenstelling. Uiteindelijk zal dan waarschijnlijk meer betaald moeten worden voor een restpoeder primer die nog steeds kraters in de coating heeft.

9 Filler

Fillers zijn deeltjes die toegevoegd worden aan materiaal om de eigenschappen van het materiaal te verbeteren, te zorgen dat er minder bindmiddel toegevoegd hoeft te worden of om bepaalde materiaaleigenschappen te verbeteren (Filler (materials), 2015).

9.1 Filler in verf

Na het experiment waarbij het restpoeder als primer gebruikt werd, is besloten om te kijken naar de mogelijkheid om het restpoeder als filler in verf te gebruiken.

Daarvoor moet wel gekeken worden naar een aantal punten, zoals: kan het restpoeder uitgehard worden zonder het te verwarmen en kan het restpoeder opgelost worden in een andere stof zodat het niet gepoedercoat hoeft te worden, maar met een kwast aangebracht kan worden op het oppervlak.

9.1.1 Experimenten

Twee componenten hars uitharder

Als het restpoeder gebruikt kan worden als filler in verf, is het handig als de verf (en het geverfde object) niet verwarmd hoeft te worden tot 200°C voor minimaal 20 minuten. Daarom is getest of het restpoeder ook kan uitharden met de uitharder die normaal gebruikt wordt om twee componenten hars uit te harden. Het eerste component van zo'n hars bevat vaak als hoofdonderdeel een thermoharder, net als het restpoeder. Het uithardingscomponent wordt hieraan toegevoegd om de hars uit te harden door crosslinks te vormen tussen de polymeerketens. Dit gebeurt op kamertemperatuur en wordt daarom gebruikt in deze test.

Nadat het restpoeder en de uitharder gemengd zijn, wordt een laagje van deze mix aangebracht op een metalen plaatje. Nadat dit opgedroogd/uitgehard is, wordt een hechtingstest gedaan met een stanleymes. De hechting tussen de verflaag en het metalen oppervlak is voldoende, maar er zijn wel luchtbelkraters ontstaan in de coatinglaag, deze zijn te zien in figuur 25.



Figuur 25 verflaag met luchtballen

Het overgebleven mengsel van het restpoeder en de uitharder is dat nog in het mengbakje zat, is bewaard en ook gaan uitharden. Hier is na een dag een erg stevig schuim ontstaan. Dit schuim kan

mogelijk ook als filler gebruikt worden, bijvoorbeeld in dashboards van auto's. Daarom wordt verdere beschrijving en onderzoek naar dit schuim vervolgt onder het hoofdstuk: filler in schuimtoepassingen.

9.1.2 Conclusie filler in verf

De verflaag die gemaakt is met uitharder en restpoeder heeft een goede hechting met de ondergrond, dus zou gebruikt kunnen worden als verf. De optimale uitharder-restpoederverhouding zou onderzocht kunnen worden in een later onderzoek, net als de invloed van de restpoedersamenstelling op de verflaag eigenschappen. Het restpoeder bevat namelijk iedere keer andere soorten poeders met andere soorten thermoharders en additieven. Voordat het restpoeder gebruikt kan worden moet de samenstelling bepaald worden.

Daarnaast is de kleur van het restpoeder iedere keer anders, dus hiervoor zouden extra pigment voor moeten worden toegevoegd.

9.1.3 Aanbeveling filler in verf

Ondanks dat hechting voldoende is om het restpoeder samen met een twee componenten uitharder als verf te kunnen gebruiken, wordt dit niet aanbevolen. De uithardingsreactie zet namelijk te snel in, waardoor het mengsel niet meer vloeibaar genoeg is om mee te verven. Zelfs als dit tegengegaan kan worden, ontstaan er nog steeds ongewenste luchtbellens in het oppervlak van de verflaag. Daarnaast is de kleur iedere keer anders, dus zou het restpoeder als primer gebruikt moeten worden.

9.2 Filler in schuimtoepassingen

Tijdens het onderzoek naar het restpoeder als filler in verf bleek dat het poeder gemengd met twee-componenten uitharder gaat schuimen. Deze toepassing zou erg handig kunnen zijn voor het opvullen van bijvoorbeeld dashboards in auto's en bootrompen.

De verklaring van de schuimvorming is te vinden in het confidentieel bijlageverslag.

9.2.1 Experimenten

Uitharden met twee componenten uitharder, met en zonder water

Om de aanname te bevestigen dat er water in het restpoeder zit, wordt een test gedaan met het uitharden van coatingpoeder met een twee-componenten uitharder. Hierbij wordt poeder uitgehard met en zonder toegevoegd water. Om gelijk de aanname te bevestigen dat er geen polyurethaan in het restpoeder hoeft te zitten om schuim te kunnen vormen, wordt er nieuw polyester poeder gebruikt in plaats van restpoeder.

- Na 6 uur is het mengsel met twee theelepels toegevoegd water gereageerd tot schuim. Het mengsel dat geen water bevat is wel iets vaster geworden, maar bevat geen luchtbellens.
- Na 12 uur zijn de mengsel nog meer uitgehard, maar nog niet compleet in vaste fase. Het mengsel met water is nu ongeveer verdubbeld in volume en het mengsel zonder water begint ook lichte schuimvorming te krijgen.
- Na 24 uur zijn beide mengsels uitgehard. Beide mengsel zijn gereageerd tot een schuim, het mengsel zonder water is echter een veel compacter schuim met minder lucht en minder volume. De reden hiervoor is waarschijnlijk dat er ondanks dat er geen water is toegevoegd, de twee componenten uitharder gereageerd heeft met het water dat zich in de lucht bevindt, de test is

namelijk niet in een luchtdichte omgeving gedaan. Ook blijkt nu dat er dus geen polyurethaan aanwezig hoeft te zijn in het restpoeder om tot schuimvorming te komen.

Verschillende hoeveelheid water

Om te zien hoeveel invloed de hoeveelheid water op de schuim vorming heeft, wordt bij een restpoeder 3x een andere hoeveelheid water toegevoegd. Hiervoor wordt het restpoeder gebruikt dat in de restpoederbatch controle test (Bijlag A, test 6.9) als tweede vergelijking gebruikt is. Bij een 1:1 verhouding van 20g restpoeder en 20g uitharder wordt geen water, 4 gram water en 12 gram water toegevoegd.

Waar er geen water toegevoegd is ontstaat er een stevig, compact schuim. Bij het mengsel met 4 gram water is een iets luchtiger, maar nog steeds stevig schuim gevormd. Waar 12 gram water zijn toegevoegd, is een grote luchtbel ontstaan midden in het mengsel, waardoor het schuim onbruikbaar is.

Verschillende hoeveelheid uitharder

Om te zien wat de invloed is van de hoeveelheid uitharder op de schuimvorming, wordt bij een restpoeder 3x een verschillende hoeveelheid uitharder toegevoegd. Hiervoor wordt als basis 20g poeder gebruikt met 4 gram water, waaraan vervolgens 3 verschillende hoeveelheden uitharder wordt toegevoegd.

De invloed van de uitharder is vrijwel niet terug te zien in de verschillende schuimen. Er is een kleine toename in luchtbelgrootte, maar dit is veel minder dan de verschillen in groottes die ontstonden door het toevoegen van water. De schuimen verschillen in volume, maar dit ligt aan de verschillende hoeveelheden van materiaal.

9.2.2 Conclusie filler in schuimtoepassingen

Het poeder kan gebruikt worden als filler in schuimtoepassingen. Door de verhoudingen aan te passen is de schuimvorming aan te passen en kan de dichtheid van het schuim bepaald worden. Water heeft hier het meeste invloed op, maar door de hoeveelheid uitharder aan te passen wordt de luchtbelgrootte ook beïnvloed.

9.2.3 Aanbeveling filler in schuimtoepassingen

Het restpoeder kan gebruikt worden om een stevig schuim mee te maken, echter hiervoor is eerst meer onderzoek nodig om de precieze uithardingsparameters te vinden. Iedere batch van restpoeder is anders, er is iedere keer een andere samenstelling die de poeder-uitharder-water verhouding kan beïnvloeden. Bij iedere batch restpoeder zal deze verhouding dus opnieuw moeten worden vastgesteld.

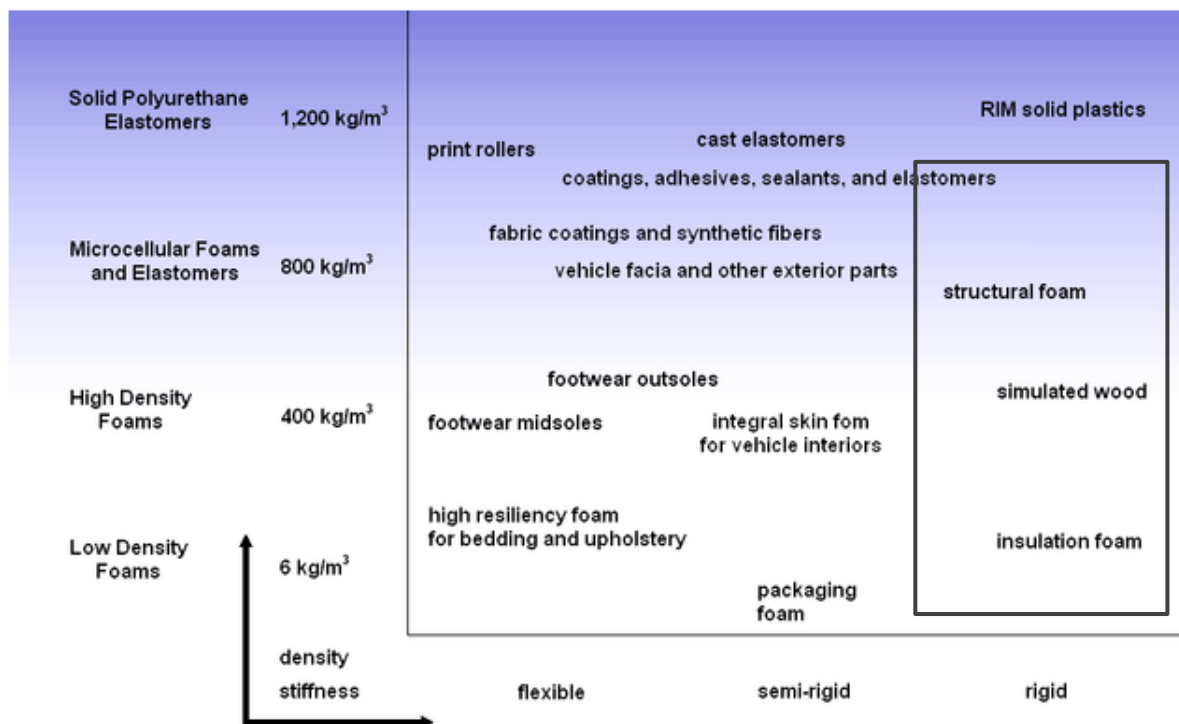
Naast dat nog onderzocht moet worden welke poeder-uitharder-water verhouding bij welk schuimdichtheid hoort, wordt aanbevolen om ook naar een juiste surfactant en katalysator te zoeken. Het schuim doet er nu namelijk nog meer dan 24 uur over om compleet uit te harden. Een surfactant verlaagt de oppervlakte spanning van de componenten waardoor ze sneller en beter mengen met elkaar. Daarnaast is het mengsel door het toevoegen van een surfactant ook stabiel.

Mogelijke katalysatoren voor het schuim zijn te vinden in het confidentieel bijlage verslag.

Ook is het aan te raden om een vloeistof te vinden om de componenten in te mengen. Tijdens de testen kon het restpoeder gemengd worden met de twee componenten uitharder omdat de uitharder vloeibaar was, maar voor een goede menging moest vrij veel uitharder worden toegevoegd, waarschijnlijk meer dan nodig was voor schuimreactie. Mogelijk zijn hier andere goedkopere opties voor.

Mogelijk kan door het toevoegen van een additief, zoals een weekmaker, de stijfheid van het schuim ook bepaald worden, maar hier is verder onderzoek voor nodig. Hierdoor zou het restpoeder ook gebruikt kunnen worden in toepassingen waar flexibel schuim voor nodig is.

Omdat door de waterverhouding aan te passen de dichtheid van het schuim kan worden bepaald, zijn de mogelijke schuimtoepassingen te vinden in het rechter gedeelte van de grafiek in figuur 26. Als het met toevoegen van weekmakers mogelijk is om ook flexibelere schuimen te maken, kan het schuim gebruikt worden voor meer toepassingen en vergroot het gebied in de grafiek naar links.



Figuur 26 schuimtoepassing grafiek (Cottontail, 2007)

9.3 Filler in beton

Thermoharders en vezel versterkte thermoharders kunnen gebruikt worden als fillers in lichtgewicht beton, zoals te lezen is in de volgende artikelen: Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete (Panyakapo & Panyakapo, 2008), Reuse assessment of thermoset composite wastes as aggregate and filler replacement for concrete-polymer composite materials (Ribeiro, et al., 2015) en Recycling of FRP composites: reusing fine GFRP waste in concrete mixtures (Correia, Almeida, &

Figueira, 2011). In de artikelen worden thermoharders of vezel versterkte composieten vermalen, waarna de deeltjes aan beton worden toegevoegd om het te versterken.

9.3.1 Conclusie filler in beton

Als het restpoeder uitgehard wordt, ontstaat er een bros materiaal als gevolg van de verschillende soorten coatingpoeders. Door deze brosheid zal het poeder geen versteviging bieden aan beton, het zal het eerder verzwakken.

9.3.2 Aanbeveling filler in beton

Het restpoeder is niet te gebruiken als filler in beton, maar als het poeder op materiaalsoort gescheiden wordt is dit mogelijk een optie om het materiaal of direct uit te harden, vermalen en te gebruiken als filler of nadat het verwerkt is tot een product (met eventueel vezels) als recycling te vermalen en dan te gebruiken als filler in beton.

9.4 Filler in automotive onderdelen

In België zit een bedrijf dat zich al bezig houdt met het recyclen van coatingpoeders. Bij dit bedrijf, Nelco, worden nieuwe poeders hergebruikt en sommige restpoeders worden gerecycled (Verwerking van Restpoeder, 2011). Als het poeder niet geschikt is voor recycling, dan wordt het verbrand om zo energie terug te winnen. De poeders die wel gerecycled kunnen worden, worden verwerkt als fillers in geluidswerende vormdelen voor de automotive zoals hoedenplanken en deurcomponenten. Dit zijn materialen met als drager stansresten van kunststof, fibres en textiel (dubbele win-win, 2012). Hierbij wordt het poeder samen met een thermoplast gebruikt wordt als bindmiddel, om dus stansresten bij elkaar te houden (Hou, 2012).

9.4.1 Conclusie filler in automobiel onderdelen

Er bestaat al een bedrijf dat het poeder afneemt en hergebruikt in nieuwe toepassingen. Het nadeel hiervan is dat het restpoeder aan een aantal eisen moet voldoen voor het verwerkt wordt. Zo moet het op materiaalsoort gescheiden zijn. Voldoet het poeder niet aan de eisen, dan wordt het alsnog verbrand voor energie terug winning.

9.4.2 Aanbeveling filler in automobiel onderdelen

Als het restpoeder gescheiden kan worden op materiaalsoort kan het goed verwerkt worden als filler automotive onderdelen. Anders wordt deze route niet aanbevolen, aangezien door verbranding met energiewinning de grondstoffen verloren gaan en niet meer gebruikt kunnen worden.

10 Poeder verwerking

Omdat het restmateriaal een poedervorm heeft, is ook gekeken naar de verwerkingsmogelijkheden vanuit bestaande processen die poeders kunnen verwerken en of deze methoden geschikt zijn voor de verwerking van het coatingpoeder.

10.1 Poeder in 3d printen

Bij sommige 3d-print methodes wordt een bed van poeder gebruikt waarbij de deeltjes plaatselijk aan elkaar gebonden worden, om zo tot een 3d structuur te kunnen komen. Daarom is gekeken naar verschillende soorten 3d print technieken, de werking van die technieken en of deze geschikt zijn om het restpoeder mee te verwerken.

Digital light processing, stereolithography, material jetting en electron beam melting (3D Printing Processes, n.d.) vallen in dit geval al af, aangezien bij DLP, SL en material jetting gebruik wordt gemaakt van lichtgevoelige fotopolymere en EBM gebruikt wordt voor het 3d printen van metalen.

Bij laser sinteren worden wel normale kunststoffen gebruikt. Hierbij wordt een bak gevuld met kunststof poeder en wordt vervolgens met behulp van een laser plaatselijk het poeder aan elkaar gesinterd. Dit kan wel met thermoharders, maar levert dan geen stevig materiaal op. Sinteren is namelijk een proces waarbij het materiaal wel aan elkaar smelt, maar waarbij geen chemische verandering plaatsvindt in het materiaal (Dow Epoxy - Sintering of Solid Resins, 2015). Er vormen geen crosslinks tussen de polymeer ketens, waardoor het resulterende materiaal erg bros zal zijn.

Ook Fused Deposition Modelling (3D Printing Processes, n.d.) is alleen geschikt voor thermoplasten, aangezien ook hier geen chemische verbinding kan plaatsvinden. De temperatuur en tijd die gebruikt worden om het materiaal om te vormen zijn niet genoeg om de curing van thermoharders in te zetten.

10.2 Poeder verwerkingsmethoden andere materialen

Er zijn verschillende productiemethodes die poeders verwerken, de meeste hiervan zijn voor het verwerken van metalen poeders tot producten.

Poeder verwerkingsprocessen voor metalen zijn (Alternative Powder Processing Methods, n.d.):

- Isostatic pressing, hierbij wordt door middel van een gas het poeder onder druk gezet en verwarmd om zo uit te harden.
- Powder injection moulding, gelijk aan het in hoofdstuk uitharden benoemde spuitgieten, alleen dan geschikt voor poeders.
- Roll compaction, waarbij metaalpoeder door twee rollen samengeperst wordt tot een plaat.
- Sintering, hierbij worden de poeder deeltjes aan elkaar gesmolten door hoge temperaturen.
- Hot pressing, gelijk aan het in hoofdstuk uitharden benoemde persvormen.

Het nadeel van de bovenstaande methoden is dat er niks veranderd aan de uithardingsproblemen die ontstaan door de mix van verschillende soorten poeders. Het materiaal dat ontstaat na het verwerken met deze processen zal erg bros zijn.

10.3 Conclusie poeder verwerking

Het nadeel van het restpoeder is dat het niet goed uithardt, zolang er geen materiaal te produceren is met goede materiaaleigenschappen, zijn de bovenstaande processen niet geschikt voor het verwerken van het restpoeder.

3D printen wordt wel vaak gebruikt voor prototyping, hierbij worden vaak geen hoge eisen gesteld aan de materiaaleigenschappen waardoor de brosheid geen probleem vormt. Dit is dus een haalbare oplossingsrichting, zolang de eisen aan de materiaaleigenschappen van het prototype laag genoeg zijn.

10.4 Aanbeveling poeder verwerking

Eerst moet er een methode gevonden worden om tijdens het poedercoatproces het restpoeder op materiaalsoort te scheiden zonder tijdverlies of een manier om het restpoeder goed uit te laten harden. Dan kan er onderzocht worden of deze verwerkingsmethoden geschikt zijn om het restpoeder mee te verwerken.

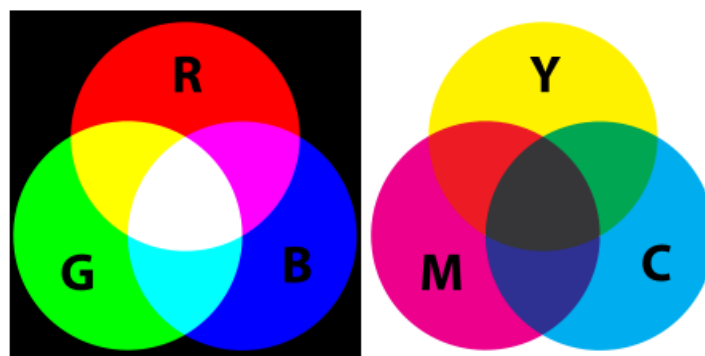
11 Pigment

11.1 Pigment toevoegen

Als het restpoeder gebruikt zou worden als primer, hoeft er geen pigment toegevoegd te worden. De kwaliteit van het oppervlak is door stofdeeltje en kraters al zo slecht, dat een restpoeder primer niet gebruikt gaat worden voor toepassingen waarbij de coating zichtbaar is. Daarbij zijn coating bovenlagen vrijwel altijd dekkend en bij lichtere kleuren zoals geel worden er standaard meer lagen gebruikt.

Als het restpoeder omgezet tot een schuim niet als opvulling gebruikt wordt, maar voor een zichtbare toepassing, zou het nuttig kunnen zijn om pigment toe te voegen. Net als dat bij het gebruik van het restpoeder als verffiller pigment toevoegen ook belangrijk is.

Er zijn twee soorten van kleuren combineren (Additive and Subtractive Color Mixing, n.d.): als de kleur van een lichtbron afkomt, spreek je van additive colours, hoe meer kleuren je combineert, hoe meer de totale kleur naar wit neigt. Als het licht gereflecteerd wordt gecombineerd wordt, dan gaat het over subtractieve of pigment colours, hierbij resulteert het combineren van kleuren tot de donkere combinatie van de twee. Deze twee effecten zijn te zien in figuur 27.



Figuur 27 additieve en subtractieve kleuren (Vukovic, 2012)

Dus qua kleur, kun je met het toevoegen van pigment alleen maar donkerder. De batches verschillen iedere keer van kleur, dus het ligt aan de batch en aan naar welke kleur je wil, hoeveel pigment moet worden toegevoegd om tot de gewenste kleur te komen. Makkelijker is dan om een vaste hoeveelheid standaard pigment toe te voegen.

Daarbij moet ook rekening gehouden worden met de toepassing van het materiaal, aangezien pigmenten invloed hebben op de eigenschappen van het totale materiaal (Physical properties of fillers and filled materials, 2010). Voorbeelden hiervan zijn:

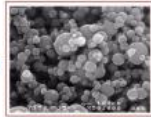
- De dichtheid van de filler heeft invloed op de totale dichtheid van het materiaal, dit kan ongeveer benaderd worden met de additivity rule.
- De deeltjes grootte heeft invloed op verschillende eigenschappen, waaronder de mechanische performance, chemische reactiviteit en morfologie
- De deeltjes grootte verdeling van het pigment heeft invloed op de reologie, de transparantie en de ondertoon van de kleur

- De deeltjes vorm, die invloed van verschillende soorten deeltjes vormen zijn te zien in figuur 28.
- Het deeltjes oppervlak beïnvloed de oppervlakte ruwheid, wat dan weer de adhesie krachten beïnvloed.
- Porositeit beïnvloed onder andere de adhesie krachten.
- Deeltjes interactie heeft invloed op het geleidingsvermogen en de vorming van agglomeraten. De agglomeraten beïnvloeden op hun beurt dan weer de dispersie stabiliteit.

Shape of filler particles: determined by crystal structure and cleavage, or synthesis

Spherical particles:

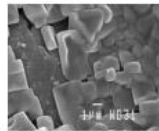
- best packing density
- uniform stress distribution
- easier melt and powder flow
- lower viscosity



<http://www.denka.co.jp/english/denka/product/img/1233259672-334eed15a.jpg>

Cubic shapes:

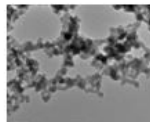
- good reinforcement
- good packing density



http://www.whoi.edu/cms/images/oceanus/gastropoda_97006.jpg

Dendritic particles:

- very large surface area available for interaction



<http://pubs.rsc.org/services/images/rscpubs/platformservice/FreeContent/ImageService/ArticleImage/2012/5M/c2sm25668a/c2sm25668a-f1.gif>

Flakes:

- large reflecting surfaces
- easier orientation
- lower permeability of liquids, gases and vapors



Elongated particles:

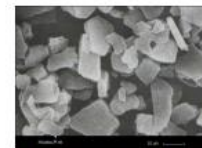
- superior reinforcement
- reduced shrinkage
- lower thermal expansion
- facilitates thixotropic properties



<http://img.tradeindia.com/tp/1/440/873.jpg>

Irregular particles

- easier to make
- inexpensive



<http://www.geokom.com/en/images/photos/tramial-05-en.jpg>

Figuur 28 invloed deeltjes vorm (Dierkes, 2015)

11.1.1 Conclusie pigment toevoegen

De keuze van het pigment dat toegevoegd kan worden hangt dus af van een aantal factoren, zoals de huidige kleur en samenstelling van het restpoeder, de gewenste kleur en de gewenste materiaal eigenschappen. Voor iedere restpoeder batch en iedere toepassing moet opnieuw bepaald worden welk pigment geschikt is om te gebruiken.

11.1.2 Aanbeveling pigment toevoegen

Zodra er een toepassing is gevonden waarvoor het restpoeder gebruikt kan worden, kan er onderzocht worden wat voor pigment er toegevoegd kan worden. Hierbij moet rekening gehouden worden met de gewenste materiaal eigenschappen van de toepassing en dat door toevoegen van pigment het totale materiaal alleen donkerder gemaakt kan worden.

11.2 Pigment verwijderen

Een van de factoren die het hergebruik van het restpoeder lastiger maakt, is de mix van verschillende kleuren die iedere batch weer resulteert in een andere kleur restpoeder. Daarom is ook gekeken naar de mogelijkheid om het pigment uit het restpoeder te verwijderen.

Er lopen al verschillende onderzoeken naar het verwijderen van pigment uit producten die gemaakt zijn van polymeren. Hieronder zijn een aantal patenten te vinden die gaan over het verwijderen van pigment uit polymeer materialen, deze worden kort toegelicht.

Composition and process for stripping color from synthetic polymer products (Pensa, 1986)

Hierbij wordt gebruik gemaakt van een chemisch systeem dat alkyl halide, een bleaching/oxidizing agent, (or)ganische zuren en surfactants bevat. Door het polymeer materiaal in contact te brengen met het chemische systeem op de juiste temperatuur, druk en contacttijd wordt het pigment verwijderd. Daarna wordt het chemische systeem verwijderd en moet het polymeer materiaal gereinigd worden met chemicaliën.

Process for separating polyamide from colorant (Yang, Plischke, McLellan, & Dickerson, 2000)

Een polyamide wordt opgelost in een organische oplossing met aromatic/aliphatic ketones, aromatic/aliphatic alcohols en diols. De kleur wordt hierdoor gescheiden van de polyamide en vervolgens kunnen het pigment en de polyamide herwonnen worden.

Method for removing color from polymeric material (Ozer & Gerzevske, 2011)

Het te ontkleuren materiaal wordt in een niet-waterige extractie oplossing gelegd die stikstof met een organische base, een ammonium zout en een alcohol bevat. Het te ontkleuren materiaal is bij deze methode een vaste stof en blijft tijdens dit proces een vaste stof. Het kan wel voorkomen dat er een klein beetje van de stof oplost, maar dit is minimaal. Na het scheiden van het pigment wordt de polymeer gescheiden door bijvoorbeeld filtratie of afschenken, waarna de polymeer eventueel gewassen wordt met water, een organische oplossing of een combinatie van de twee.

11.2.1 Conclusie pigment verwijderen

Met meer onderzoek zou het mogelijk kunnen zijn om het pigment uit het restpoeder te halen. Hierbij moet het proces wel iedere keer aangepast worden op de samenstelling van het restpoeder.

11.2.2 Aanbeveling pigment toevoegen

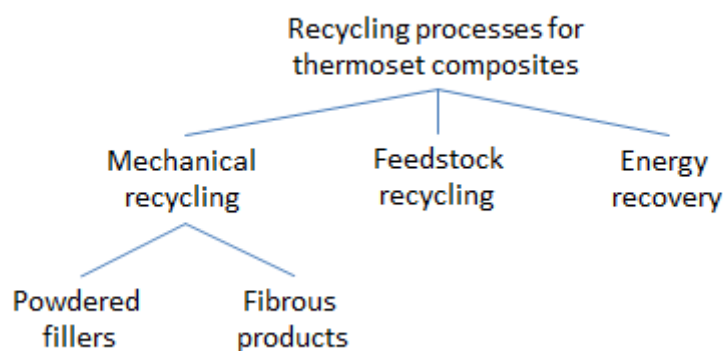
Ondanks dat de methodes beschreven in de patenten mogelijk gebruikt kunnen worden, wordt dit toch afgeraden. Het poeder moet ten eerste opgelost moet worden, waarna vaak alleen de thermoharders worden terug gewonnen, de rest van de componenten kunnen daarna weggegooid worden. Ook zijn het tijdrovende en dure processen (extra materialen nodig, extra spullen, werknemers). Daarnaast zijn de uithardingsproblemen hiermee niet opgelost, aangezien het overgebleven materiaal nog steeds een mix van thermoharders is.

12 Recycling

Na dat het coatingpoeder verwerkt is tot een product, heeft het product een beperkte levensduur. Daarna wordt het product weggegooid. Om de levensduur van het materiaal zo lang mogelijk te maken, zou het hierna nog een keer recycle kunnen worden. Er is al veel onderzoek gaande naar de recycling van thermohardende kunststoffen. De recycling van thermoharders is namelijk lastiger dan die van thermoplasten. Een thermoplast kan namelijk vanwege de afwezigheid van crosslinks meerdere keren verwarmt en vervormt worden. Thermoharders daarentegen vormen na de eerste keer opwarmen tot uithardingstemperatuur crosslinks. Deze crosslinks maken het erg moeilijk om thermoharders te recyclen, omdat je ze niet meer kun vervormen.

12.1 Recyclen van thermoharders (met en zonder vezels)

Er zijn verschillende methoden om thermoharders te recyclen. Deze zijn te onderscheiden in mechanische recycling en thermische recycling, zoals te zien is in figuur 29.



Figuur 29 overzicht recycling thermohardende composieten

12.1.1 Mechanische recycling

Bij mechanische recycling worden thermohardende producten, vaak met vezels erin, vermalen. De deeltjes die dan ontstaan kunnen gebruikt worden als filler in nieuwe composieten (tot 25%) of, als er vezels inzitten, gebruikt worden als aanvulling op vezels in nieuw vezelversterkt kunststof materiaal (tot 50%) (Pickering S. , 2013). Dit is echter geen hoogwaardig hergebruik, maar een veredelde vorm van storten.

Omdat het restpoeder niet kan uitharden tot een stevig (niet bros) materiaal, kan het waarschijnlijk niet gebruikt worden als filler of vezel in nieuw materiaal. Het brosse materiaal dat ontstaat na de uitharding zal geen versterking leveren voor het nieuwe materiaal, het zal het alleen maar brosser maken. Als er een manier gevonden wordt om het poeder te scheiden op materiaalsoort, kan er nogmaals gekeken worden naar deze recycling methode.

12.1.2 Feedstock recycling

Bij deze methode is het doel een van de grondstoffen te herwinnen uit het materiaal. Omdat de verschillende stoffen met chemische bindingen aan elkaar verbonden zijn, gaat dit scheiden met verschillende chemische processen.

Er zou gezocht kunnen worden naar de juiste methode om bijvoorbeeld de thermoharders terug te winnen uit het poeder. Helaas kosten deze processen veel geld en energie (vaak vinden de reacties plaats op hoge temperaturen (Recycling and Recovery of Polyurethanes - Feedstock recycling, 2012)), daarom worden ze nu nog niet als oplossing gezien. Wel is een aanbeveling om de updates rondom deze innovaties in de gaten te houden. Daarnaast zal niet elke methode geschikt zijn voor iedere restpoeder batch, aangezien deze iedere keer weer verschillend in samenstelling en iedere keer andere additieven bevatten.

12.1.3 Energy recovery

Bij deze methode wordt het materiaal als een brandstof gebruikt voor bepaalde processen. Op deze manier wordt de energie teruggewonnen die in het materiaal zit. Verbranden van een materiaal met energie terugwinning staat een stap boven storten op de ladder van Lansink (Lansink, 1979), maar het is nog steeds een erg laagwaardige toepassing. Nadat het materiaal verbrandt is, is het namelijk niet meer terug te winnen.

Dit kan wel toegepast worden. Alleen omdat poeders een stofexplosie kunnen veroorzaken tijdens verbranding, zou het poeder wel eerst omgesmolten moeten worden naar een vaste vorm. Toch is aanbeveling eerder storten dan verbranden. Als het materiaal verbrand wordt, wordt er wel energie gewonnen, maar het materiaal is niet meer terug te krijgen en de life cycle kan niet meer rond worden. Als het materiaal gestort kan worden, kan er gewacht worden tot het met behulp van technieken die in de toekomst ontdekt worden toch nog hergebruikt kan worden. Zo bestaat er een kans dat de cirkel van de grondstoffen toch rond wordt.

12.1.4 Conclusie recyclen van thermoharders (met en zonder vezels)

Zolang er geen manier gevonden is om het restpoeder te kunnen verwerken tot een stevig plastic wordt het afgeraden om het met een van de bovenstaande methoden te recyclen.

12.2 Recyclen van schuim

Als het restpoeder met behulp van een uitharder omgezet is tot een schuim, kan het op verschillende manieren gerecycled worden, zoals hieronder beschreven wordt.

12.2.1 Reuse

Reuse houdt in dat het materiaal opnieuw gebruikt wordt zonder de samenstelling van het materiaal te scheiden. Voor polyurethaan schuim zijn er momenteel twee toepassingen voor het hergebruiken van het materiaal (Recycling and Recovery of Polyurethanes- Reuse and reprocessing, 2012):

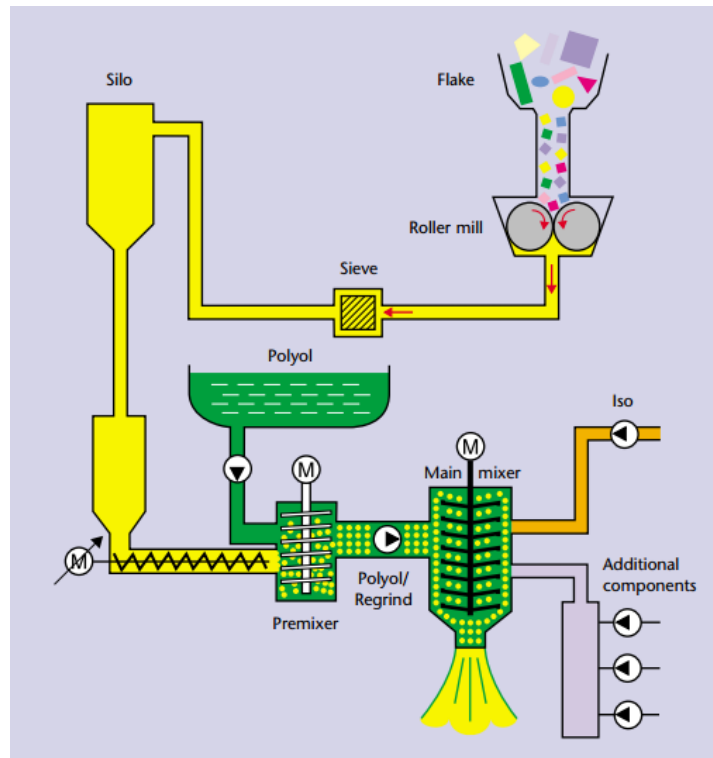
Als oil binder, hierbij wordt het schuim gebruikt om olie te absorberen. En als insulating mortar: Thermogran® bijvoorbeeld is een isolatieproduct op basis van gerecycleerd polyurethaan met een uitstekende akoestische en thermische isolatiewaarde.

12.2.2 Mechanische recycling

Regrinding

Bij regrinding (figuur 30), ook wel powdering genoemd, wordt flexibel polyurethaan schuim vernalen en gemengd met een polyol als bindmiddel (Recycling and Recovering Polyurethanes - Regrind/powdering, 2001).

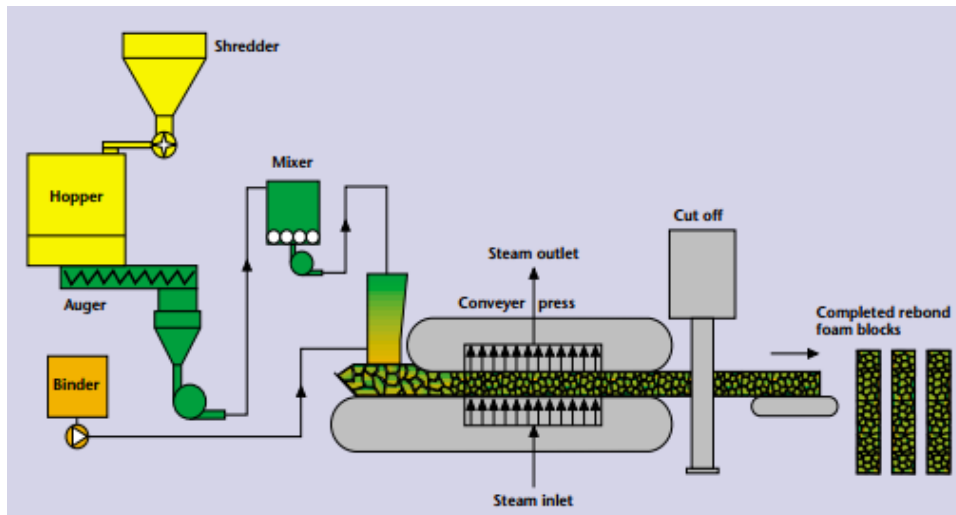
Dit kan verwerkt worden in nieuwe polyurethaan schuimen en in RIM automobiel onderdelen.



Figuur 30 regrinding proces (Recycling and Recovering Polyurethanes - Regrind/powdering, 2001)

Particle bonding (re-bonding)

Bij particle bonding (figuur 31) wordt flexibel polyurethaan schuim gesorteerd en vernalen (Recycling and Recovery of Polyurethanes - Material recycling, 2012). Deze vrij grove stukken schuim worden gecoat met een bindmiddel en vervolgens samengeperst om de juiste dichtheid en vorm te krijgen, terwijl het bindmiddel wordt geactiveerd.



Figuur 31 particle bonding proces (Recycling and Recovering Polyurethanes - Rebonded flexible foam, 2001)

Op deze manier kan het schuim opnieuw gebruikt worden in bijvoorbeeld carpet underlay en athletic mats (Recycling and Recovery Polyurethanes - Rebonded flexible foam, n.d.).

Adhesive pressing

Adhesive pressing wordt niet gebruikt voor flexibel polyurethaan schuim, maar voor star schuim. Bij dit proces wordt polyurethaan granulaat met een binder, polymeric diisocyanaat, gecoat en vervolgens uitgehard onder druk en warmte om contoured parts, zoals automotive floor mats en tire covers mee te maken (Recycling and Recovering Polyurethanes - Adhesive pressing and particle bonding, 2001).

12.2.3 Conclusie recycleren van polyurethaan schuim

Op basis van de stijfheid van het schuim kan een van de bovenstaande methoden gebruikt worden om het schuim na gebruik te recycleren. Een nadeel is wel dat dat het gerecyclede schuim niet dezelfde mechanische sterkte heeft als het originele schuim (Recycling and Recovery of Polyurethanes - Material recycling, 2012). Maar door het schuim opnieuw te verwerken en te gebruiken in laagwaardigere toepassingen, wordt wel de levensduur van het materiaal verlengt.

12.3 Aanbeveling recycling

Om het restpoeder te recycleren, moet er eerst een methode gevonden worden om het te verwerken tot een materiaal. Het uitharden van het poeder werkt nu alleen nog maar met gescheiden poeders. Wel kan het materiaal goed gerecycled en hergebruikt worden als het eerst wordt verwerkt tot een schuim. Het verbranden van het materiaal na het omzetten tot een vaste vorm wordt afgeraden, omdat hierbij de grondstoffen verloren gaan. Feedstock recovery wordt ook afgeraden. Zelfs als hier de juiste methode voor gevonden wordt, kost feedstock recovery te veel energie, tijd en geld vergeleken met de kwaliteit van het teruggewonnen materiaal.

13 Totale conclusie

Tijdens deze bachelor eindopdracht zijn een aantal oplossingsrichtingen onderzocht, niet alle oplossingsrichtingen zijn (in praktijk) bruikbaar. Hieronder worden de oplossingsrichtingen samengevat op volgorde van niet bruikbaar naar bruikbaar.

Uitharden

Het uitharden van het restpoeder op dezelfde manier als met andere thermoharders gedaan wordt, is niet bruikbaar. Er ontstaan luchtbelletjes tijdens de reactie die eventueel wel voorkomen kunnen worden door het uit te harden in een vacuüm, maar daarnaast is het materiaal ook erg bros en daarom niet bruikbaar.

Uitharden met vezels

Omdat het restpoeder niet uit te harden is tot een stevig materiaal kan het niet gebruikt worden als matrixmateriaal in vezelversterkte kunststoffen.

Poeder

Ook het gebruiken van poederverwerkingsmethoden is niet bruikbaar om het restpoeder mee te verwerken, zolang het poeder niet op materiaalsoort gescheiden wordt.

Filler in beton

Ook hierbij is het restpoeder vanwege de brosheid niet te gebruiken. Door de brosheid wordt het beton niet verstrekt, maar verzwakt door het restpoeder.

Filler in verf

Als er een uitharder wordt toegevoegd aan het poeder kan het als verf aangebracht worden op metalen oppervlaktes. De hechting van het coatinglaag en het metaal is voldoende om te gebruiken, maar in de coatinglaag ontstaan ongewenste luchtbelletjes. Daarnaast zet het uithardingsproces te snel in om goed mee te kunnen verven en duurt het vervolgens erg lang voor de laag volledig uitgehard is. Daarom wordt het gebruiken van het restpoeder als verf filler afgeraden.

Pigment

Pigment verwijderen uit thermoharders is mogelijk met verschillende chemische processen, het nadeel hierbij is dat het processen tijd en materialen kosten en het resulterende materiaal niet te gebruiken is.

Primer

Het gebruiken van het restpoeder als primer is mogelijk. Helaas is door de kosten van een normale primer en de oppervlakte kwaliteit van een restpoederprimer het niet winstgevend.

Pigment toevoegen

Pigment toevoegen aan het restpoeder is een mogelijke methode om de kleur mee aan te passen, maar alleen om het poeder een donkerdere kleur te geven. Daarnaast moet gelet worden op de eisen die aan het materiaal worden gesteld aangezien verschillende soorten pigmenten verschillende invloed hebben op de materiaaleigenschappen van het totale materiaal.

(Filler) in schuim

Het restpoeder kan goed gebruikt worden als schuim. Het kan normaal purschuim vervangen in de toepassingen waarvoor het gebruikt wordt, bijvoorbeeld als isolatie materiaal of als structural foam. Hiervoor is echter wel extra onderzoek nodig.

Recycling

Het recyclen van het restpoeder kan nadat het verwerkt is tot purschuim. Schuim wordt namelijk al op verschillende manieren gerecycled, zoals door hergebruiken, mechanische recycling en chemische recycling.

Bibliografie

- 3D Printing Processes*. (n.d.). Opgehaald van 3D printing industry: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>
- Additive and Subtractive Color Mixing*. (n.d.). Opgehaald van colorbasics: <http://www.colorbasics.com/AdditiveSubtractiveColors/>
- Alternative Powder Processing Methods*. (n.d.). Opgehaald van The library of manufacturing: http://thelibraryofmanufacturing.com/alt_powder_processes.html
- Ashida, K. (2006). *Polyurethane and Related Foams: Chemistry and Technology*. CRC Press.
- Beckerman, A., Klis, T. v., & Achterberg, J. (1997). *VOM cursus Poedercoaten A*.
- Biller, K. (2006, augustus 4). *A Glimpse into the Manufacturing Process*. Opgehaald van paint & coatings industry: <http://www.pcimag.com/articles/94198-a-glimpse-into-the-manufacturing-process>
- Biron, M. (2014). Thermoset Processing. In *Thermosets and Composites* (pp. 269-297). Elsevier.
- Biron, M. (2014). *Thermosets and Composites*. Elsevier.
- Brouwer, R. (n.d.). *Natural Fibre Composites in Structural Components: Alternative Applications for Sisal?* Opgehaald van FAO Corporate Document Repository: <http://www.fao.org/docrep/004/y1873e/y1873e0a.htm>
- Ceridust 9615 A*. (n.d.). Opgehaald van Clariant: <http://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2014/03/18/16/31/Ceridust-9615-A>
- Clariant Ceridust 9615 A*. (2013, november 8). Opgehaald van palmer holland: <http://www.palmerholland.com/Assets/User/Documents/Product/42111/391/MITM02882.pdf>
- Correia, J., Almeida, N., & Figueira, J. (2011). Recycling of FRP composites: reusing fine GFRP waste in concrete mixtures. *Journal of Cleaner Production*, 1745-1753.
- Cosgrove, M., Doolin, M., Kerry, B., Leeder, M., & Smith, J. (1996). *Patentnr. WO1996015891 A1*.
- Cottontail, P. (2007, august 21). *Chart of basic Polyurethane properties*. Opgehaald van wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_polyurethane_applications
- Cripps, D. (n.d.). *Fibre Properties*. Opgehaald van NetComposites: <http://www.netcomposites.com/guide-tools/guide/reinforcements/fibre-properties/>
- Cripps, D. (n.d.). *Polyester Resins*. Opgehaald van NetComposites: <http://www.netcomposites.com/guide-tools/guide/resin-systems/polyester-resins/>

- Cyclonic air classifiers/High efficiency cyclones*. (n.d.). Opgehaald van metso:
<http://www.metso.com/products/separation/cyclonic-air-classifiers/>
- Dierkes, W. (2015, november 27). Properties of fillers - Particle shape. *Polymer-filler interactions*, 18.
- Dow Epoxy - Sintering of Solid Resins*. (2015, maart 9). Opgehaald van Dow:
http://dowac.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/4401/~dow-epoxy---sintering-of-solid-resins
- dubbele win-win. (2012). *Oppervlaktetechnieken*, 24-26.
- Duin, R. v. (n.d.). *Epoxy Powder Coatings*. Opgehaald van SpecialChem:
<http://coatings.specialchem.com/selection-guide/powder-coatings/epoxy#content>
- Duin, R. v. (n.d.). *Epoxy-Polyester Hybrid Powder Coatings*. Opgehaald van SpecialChem:
<http://coatings.specialchem.com/selection-guide/powder-coatings/epoxypolyester-hybrid>
- Duin, R. v. (n.d.). *Polyester Powder Coatings*. Opgehaald van SpecialChem:
<http://coatings.specialchem.com/selection-guide/powder-coatings/polyester#content>
- Epoxy plastics' general chemical and physical properties*. (sd). Opgehaald van Nils Malmgren AB:
<http://www.nilsmalmgren.com/epoxy-chemistry/epoxy-plastics-general-chemical-and-physical-properties/>
- Epoxy Resins*. (n.d.). Opgehaald van Molded Fiber Glass Companies:
<http://www.moldedfiberglass.com/materials/epoxy-resins>
- Fawer, B. (n.d.). Cure dynamics of powder coatings. *Powder Coating Consultants*.
- Filler (materials)*. (2015, december 17). Opgehaald van Wikipedia:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Filler_\(materials\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Filler_(materials))
- Filmbildung und Härtung*. (n.d.). Opgehaald van mucha pulverbeschichtung: <http://www.muchaldford.de/filmbildung-und-haertung.html>
- Furness, J. (2001, mei 8). *Thermosetting Composites - Fibres and Matrices*. Opgehaald van Azo materials: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=401>
- Gel Time Tester*. (n.d.). Opgehaald van Khushboo Scientific Pvt. Ltd.:
<http://kscientific.tradeindia.com/gel-time-tester-806403.html>
- Goodman, S. H., & Dodiuk-Kenig, H. (2014). *Handbook of Thermoset Plastics*. Elsevier.
- Grinding & Classifying Systems*. (n.d.). Opgehaald van Classifier Milling System Corp.:
<http://classifiermillingsystems.com/powder-coating-grinding-mill-turn-key-systems/grinding-classifying-systems.html>
- Hou, M. (2012). Thermoplastic Adhesive for Thermosetting Composites. *Materials Science Forum*, 2968-2973.

- How is powder coating produced?* (n.d.). Opgehaald van AkzoNobel Powder Coatings:
https://www.akzonobel.com/powder/guide_to_powder_coatings/how_is_powder_produced/
- How to Determine Powder Coating Curing.* (n.d.). Opgehaald van Powder Technology, Inc.:
http://www.powdertechnology.com/content/powder_coating.cfm
- Hybrid Resins.* (n.d.). Opgehaald van Molded Fiber Glass Companies:
<http://www.moldedfiberglass.com/materials/hybrid-resins>
- Kals, H., Buiting-Csikos, C., Luttervelt, C. v., Moulijn, K., Ponsen, J., & Streppel, A. (2012). *Industriële productie*. Den Haag: Sdu Uitgevers bv.
- Karayan, V. (2007). 'As Good as New' Chain Extender Restores Reclaimed Resins. *Plastics Technology*.
- Lansink, A. (1979). Ladder van Lansink.
- McNaught, A., & Wilkinson, A. (2014). Prepreg. In *Compendium of Chemical Terminology* (p. 1177). International Union of Pure and Applied Chemistry.
- (n.d.). Opgehaald van Manufacturing Terms: <http://www.manufacturingterms.com/>
- Nadeem, B. (n.d.). *Powder Coating*. Opgehaald van let's finish it:
<http://letsfinishit.com/powdermfg.htm>
- Nijssen, R. (2013). *Composieten - Basiskennis*. Vereniging Kunststof Composieten Nederland.
- Nijssen, R. (2015). *Composite Materials - an introduction*. Vereniging Kunststof Composieten Nederland.
- Ohama, Y. (1995). *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars*. Elsevier.
- Oxyplast. (2016, mei 26). Rondleiding Coatingpoeder productie hal.
- Ozer, R., & Gerzevske, K. (2011). *Patentnr. US 7947750 B2*.
- Panyakapo, P., & Panyakapo, M. (2008). Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete. *Waste Management*, 1581-1588.
- Pensa, L. (1986). *Patentnr. 4783193*.
- (2010). Physical properties of fillers and filled materials. In G. Wypych, *Handbook of Fillers* (pp. 224-259). ChemTec Publishing.
- Pickering, S. (2005). *Recycling technologies for thermoset composite materials - current status*. Elsevier.
- Pickering, S. (2013, september 25). Recycling and Disposal of Thermoset Composites. Dartington Hall. Opgehaald van http://www.swcompositesgateway.co.uk/presentation/LCA%20Workshop_Dr_Pickering_Sept_2013.pdf

- Plastics Processes*. (2016). Opgehaald van British Plastics Federation:
<http://www.bpf.co.uk/plastipedia/processes/default.aspx#processingthermosets>
- poedercoatbedrijf. (2016, april 22). Vergadering.
- Poedercoaten bij Meulendijks Straal- en Conserveringsbedrijf Helmond B.V.* (n.d.). Opgehaald van meulendijks straal- en conserveringsbedrijf:
<http://www.stralenpoedercoaten.nl/poedercoaten/>
- poedercoatingproces*. (n.d.). Opgehaald van poedercoaten: <http://www.poedercoaten.nl>
- Polyester Resins*. (n.d.). Opgehaald van Molded Fiber Glass Companies:
<http://www.moldedfiberglass.com/materials/polyester-resins>
- Polyurethaan*. (n.d.). Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Polyurethaan>
- Polyurethane Foam, Preperation of Polymers*. (2009). Opgehaald van Flinn Scientific Inc:
<https://www.flinnsci.com/media/620296/91056.pdf>
- Polyurethane*. (n.d.). Opgehaald van Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane>
- Polyurethane Resins*. (n.d.). Opgehaald van Molded Glass Fiber Companies:
<http://www.moldedfiberglass.com/materials/polyurethane-resins>
- Polyurethanes*. (2013, maart 18). Opgehaald van The Essential Chemical Industry:
<http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyurethane.html>
- Pot Life, Working Life and Gel Time of Epoxies*. (2014). Opgehaald van Epotek:
http://www.epotek.com/site/files/Techtips/pdfs/techtips_26_7.pdf
- Powder basics*. (n.d.). Opgehaald van powderovens:
http://www.powderovens.com/powder_basics.html
- Productie Methoden*. (n.d.). Opgehaald van United Composites:
<http://www.unitedcomposites.net/nederlandsepaginas/waaromcomposieten.htm#PRODUCTIE METHODEN>
- Ragas, F., Minnis, R., Murphy, E., & Vargo, S. (1983). *Patentnr. US4404308 A*.
- Recycling and Recovering Polyurethanes - Adhesive pressing and particle bonding*. (2001, juni). Opgehaald van Isopa: <http://www.polyurethanes.org/uploads/documents/adhesive.pdf>
- Recycling and Recovering Polyurethanes - Rebonded flexible foam*. (2001, juni). Opgehaald van Isopa:
<http://www.polyurethanes.org/uploads/documents/rebonded.pdf>
- Recycling and Recovering Polyurethanes - Regrind/powdering*. (2001, juni). Opgehaald van Isopa:
<http://www.polyurethanes.org/uploads/documents/regrind.pdf>
- Recycling and Recovery of Polyurethanes - Feedstock recycling*. (2012, mei). Opgehaald van Isopa:
http://isopa.org/media/1118/may-2012_fact-sheet_feedstock-recycling.pdf

- Recycling and Recovery of Polyurethanes - Material recycling.* (2012, mei). Opgehaald van Isopa:
http://isopa.org/media/1119/may-2012_fact-sheet_material-recycling-docx.pdf
- Recycling and Recovery of Polyurethanes- Reuse and reprocessing.* (2012, mei). Opgehaald van Isopa:
http://isopa.org/media/1123/may-2012_fact-sheet_reuse-reprocessing.pdf
- Recycling and Recovery Polyurethanes - Rebonded flexible foam.* (n.d.). Opgehaald van Isopa:
http://isopa.org/media/1104/isopa-factsheet_recycling_and_recoverypolyurethanes_v02.pdf
- Ribeiro, M., Meira-Castro, A., Silva, F., Santos, J., Meixedo, J., Fiuza, A., . . . Alvim, M. (2015). Re-use assessment of thermoset composite wastes as aggregate and filler replacement for concrete-polymer composite materials: A case study regarding GFRP pultrusion wastes. *Resources, Conservation and Recycling*, 417-426.
- RIM (Reaction Injection Moulding).* (n.d.). Opgehaald van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/reaction-injection-moulding>
- Rosato, D., & Rosato, D. (2005). Fabricating processes. In *Reinforced Plastics Handbook* (p. 2540482). Elsevier.
- Rosato, D., & Rosato, D. (2005). *Reinforced Plastics Handbook*. Elsevier.
- Rosato, D., Rosato, D., & Rosato, M. (2004). *Plastic Product Material and Process Selection Handbook*. Elsevier.
- Rotatiegieten uitgelegd.* (n.d.). Opgehaald van Pentas: <http://www.pentas.nl/productie/rotatiegiet-proces/>
- Soller, J. (2004). *Choosing the Appropriate Resin*. Opgehaald van Soller Composites:
<http://www.sollercomposites.com/epoxyresinchoice.html>
- Stough, W. (2010, januari 21). *Dispersing the powder coat waste problem on journey to zero landfill*. Opgehaald van Sustainable Manufacturing Network:
<http://sustainablemfr.com/waste/dispersing-powder-coat-waste-problem-journey-zero-landfill>
- technische informatie over verschillende coatingtechnieken.* (n.d.). Opgehaald van coating advies nederland: <http://www.coatingadvies.nl/coating-advies-kenniscentrum.html>
- Thermoset Transfer/ Compression Molding.* (n.d.). Opgehaald van Rebling Plastics:
<http://www.reblingplastics.com/processing-ttcm.html>
- Thermosetting resins- an introduction.* (2012, april 10). Opgehaald van Reinforced plastics:
<http://www.materialstoday.com/composite-processing/features/thermosetting-resins-an-introduction/>
- Tracton, A. (2006). *Coatings Materials and Surface Coatings*. CRC Press.

- Verlag, V. (2003, november 13). *Efficient Grinding and Classifying of Powder Coatings*. Opgehaald van Paint & Coatings Industry: <http://www.pcimag.com/articles/93503-efficient-grinding-and-classifying-of-powder-coatings>
- Verwerking van Restpoeder. (2011). *Oppervlaktetechnieken*, 12-15.
- Verwerkingstechnieken* . (n.d.). Opgehaald van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken>
- Vukovic, P. (2012, augustus 29). *7 simple facts for understanding color theory*. Opgehaald van 99designs: <https://99designs.nl/blog/tips/the-7-step-guide-to-understanding-color-theory/>
- Waste reduction in polyurethanes manufacturing*. (n.d.). Opgehaald van Product Safety First: <http://www.productsafetyfirst.covestro.com/en/Country/USA/Waste-Reduction/Recycling/Polyurethanes>
- What's in a powder coating?* (n.d.). Opgehaald van AkzoNobel Powder Coatings: https://www.akzonobel.com/powder/guide_to_powder_coatings/whats_in_a_powder_coating/
- Yang, Y., Plischke, L., McLellan, G., & Dickerson, J. (2000). *Patentnr. 6036726*.
- Yazdanbakhsh, A., & Bank, L. (2014). A Critical Review of Research on Reuse of Mechanically Recycled FRP Production and End-of-Life Waste for Construction. *polymers*, 1810-1826.

Bijlage A

Testen

6 Uithardingstesten

Test 6.1

Epoxy polyester poeder uitharden

Doel

Erachter komen wat de juiste uithardingsparameters zijn voor het restpoeder. Dit wordt getest aan de hand van de aangeleverde datasheets (BijlageB6.2/6.3) die de moffelcyclus per type coating poeder bevatten. De poeders die beschikbaar zijn om uit te harden zijn het restpoeder, een polyester poeder en een epoxy-polyester poeder. Om de uithardingsparameters van het restpoeder te vinden, worden eerst de twee andere poeders uitgehard. Op basis van deze resultaten worden de parameters voor het restpoeder geschat en getest. Eerst wordt het epoxy-polyester poeder gebruikt.

Benodigdheden

Oven

Epoxy-polyester poeder (6,47g)

Mal (125mmx125mm)

2 metalen plaatjes (125mmx125mm)

2 met teflon gecoate glasvezel vellen (125mmx125mm)

Ethanol

Latex handschoenen

Glasbeker

Spatel

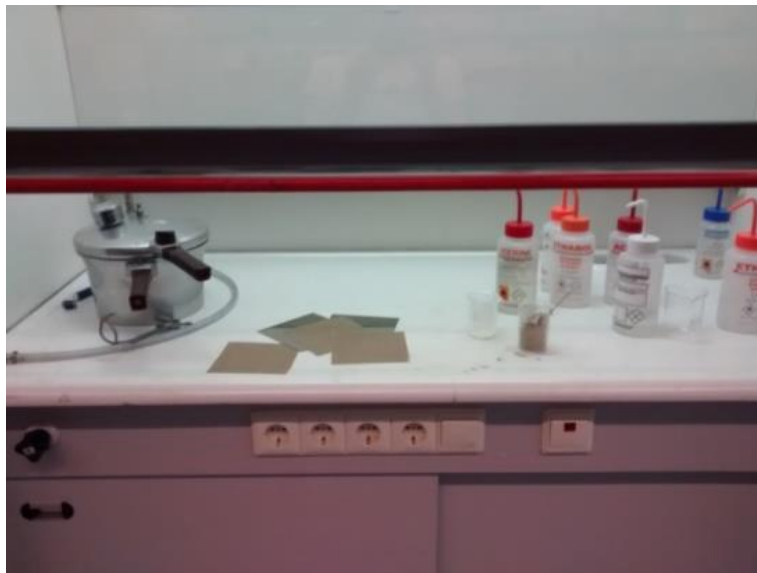
Weegschaal

Ovenhandschoenen

Timer



Figuur 1 Oven



Figuur 2 zuurkast

Uitwerking

De mal wordt in de oven geplaatst en de oven wordt voorverwarmt op 160°C. Op deze manier warmt de mal samen met de oven op.

De metalen plaatjes en glasvezel vellen worden met een doekje met ethanol schoongemaakt in een zuurkast.

Poeder wordt vervolgens zo egaal mogelijk verdeeld over een van de glasvezelvellen tot het hele velletje bedekt is met een laagje poeder van ongeveer een halve millimeter dik.

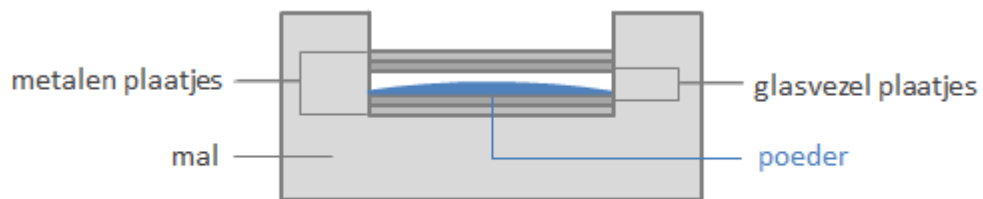
Het bekglas wordt op de weegschaal geplaatst en de weegschaal wordt op 0 gezet. Vervolgens wordt het poeder in het bekglas gegoten en afgewogen.

Een van de glasvezelvellen wordt op een van de metalen plaatjes gelegd en het poeder wordt opnieuw zo egaal mogelijk over het oppervlakte verdeeld. Op deze manier is de dikte van de laag en het gewicht bekend. Het poeder moet voor het wegen in het bekglas omdat het anders overal heen stuift.

Het ander glasvezelvel wordt bovenop de poederlaag geplaatst en hier bovenop komt weer een metalen plaat.

De metalen plaatjes maken het mogelijk dat de stapel met het poeder in en uit de mal gehaald kunnen worden, als dit niet mogelijk was zou de gehele mal moeten afkoelen na het uitharden voordat het poeder eruit gehaald kan worden.

De met teflon gecoate glasvezel plaatjes zorgen ervoor dat het poeder tijdens het uitharden niet aan de metalen plaatjes hechten, een van de functies van coating poeder is namelijk het hechten aan metalen oppervlaktes.



Figuur 3 schematische weergave mal

Als de oven voorverwarmd is, wordt de mal eruit gehaald en opengeschroefd. De stapel met het poeder wordt in de mal gelegd en na het sluiten van de mal in de oven gezet voor 20 minuten.

Na 20 minuten kan de mal uit de oven gehaald worden om het uitgeharde poeder eruit te halen.

Resultaten



Figuur 4 uitgehard materiaal



Figuur 5 luchtbelletjes

Na dat het poeder 20 minuten in de oven gezeten heeft, is het een fragiel plaatje geworden met een hoop grote en kleine bubbels.

Conclusie

Het poeder is niet goed gaan vloeien. Dit is waarschijnlijk doordat er bijna geen druk op het poeder komt tijdens het uithardingsproces. Ook is het een erg dun plaatje geworden, meer materiaal gebruiken zou beter zijn.

Test 6.2

Polyester poeder uitharden met vloeï

Doel

Erachter komen wat de juiste uithardingsparameters zijn voor het restpoeder. Dit wordt getest aan de hand van de aangeleverde datasheets die de moffelcyclus per type coating poeder bevatten. De poeders die beschikbaar zijn om uit te harden zijn het restpoeder, een polyester poeder en een epoxy-polyester poeder. Om de uithardingsparameters van het restpoeder te vinden, worden eerst de twee andere poeders uitgehard. Op basis van deze resultaten worden de parameters voor het restpoeder geschat en getest.

Bij de eerste test is het epoxy-polyester poeder gebruikt, nu wordt het polyester poeder gebruikt. Het resultaat van het epoxy-polyester poeder was een erg dun bros plaatje. Om een minder bros plaatje te krijgen, wordt het poeder nu niet over de mal verspreid, maar in een hoopje tussen de platen gelegd. Op deze manier zal het poeder tijdens het uitharden waarschijnlijk beter vloeien en verdwijnen de belletjes hopelijk.

Benodigdheden

Oven

Polyester poeder (6,46g)

Mal (125mmx125mm)

2 metalen plaatjes (125mmx125mm)

2 met teflon gecoate glasvezel vellen (125mmx125mm)

Ethanol

Latex handschoenen

Glasbeker

Spatel

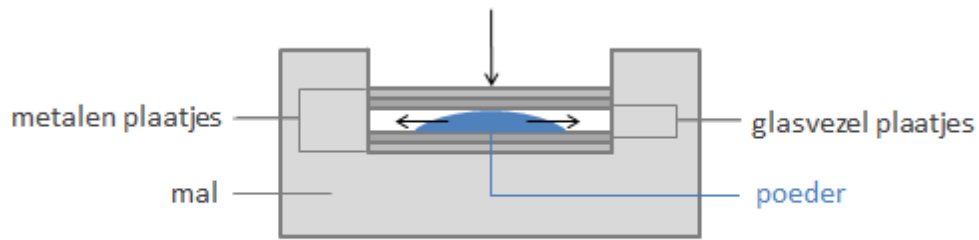
Weegschaal

Ovenhandschoenen

Timer

Uitwerking

De mal is 20 minuten op 170°C in de oven geweest De mal was voorverwarmd.



Figuur 6 schematische weergave mal met vloeï

Resultaten

Doordat er meer materiaal gebruikt is, is er een dikkere plaat ontstaan van 1 mm dik. Er zitten nog steeds luchtballen in het plaatje (figuur 7), maar deze zijn groter dan de ballen van het vorige plaatje. Het materiaal is steviger dan het vorige plaatje.



Figuur 7 uithard plaatje



Figuur 8 grote luchtballen

Conclusie

Door het poeder te verzamelen in het midden kan het tijdens het uitharden naar buiten vloeien. Doordat er minder luchtballen zijn, meer materiaal gebruikt is en het vloeien is het materiaal minder bros dan dat van test 6.1. Toch breekt het plaatje bij weinig kracht al in stukjes.

Test 6.3

Restpoeder uitharden met iets meer gewicht

Doel

Het restmateriaal uitharden zodat er een plaatje ontstaat dat getest kan worden op mechanische materiaaleigenschappen. Bij de vorige twee testen was het materiaal na het uitharden erg bros en bevatte veel luchtbelletjes. Om dit te verminderen wordt nu de mal gesloten met een gewicht van 1 kg. Op deze manier komt er meer druk op het materiaal tijdens het uithardingsproces. Ook wordt er meer materiaal gebruikt om een dikker wanddikte te krijgen.

Benodigdheden

Oven

Restpoeder (13,55g)

Mal (125mmx125mm)

Bovenkant mal (125mmx125mm)

2 metalen plaatjes (125mmx125mm)

2 met teflon gecoate glasvezel vellen (125mmx125mm)

Ethanol

Latex handschoenen

Glasbeker

Spatel

Weegschaal

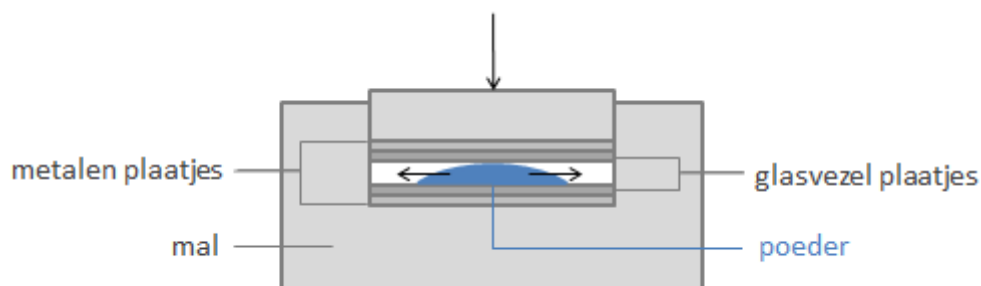
Ovenhandschoenen

Timer

Uitwerking

Het poeder wordt net als bij de voorgaande testen in een hoopje midden in de mal gelegd.

Vervolgens wordt de bovenkant van de mal bovenop de stapel met poeder en plaatjes gelegd. De mal wordt vervolgens voor 25 minuten in de oven gezet van 170°C. De mal was voordat de metalen plaatjes, glasvezel plaatjes en het poeder erin gingen al voorverwarmd in de oven.



Figuur 9 schematische weergave dichte mal

Resultaten

Het plaatje heeft een wanddikte van 1 millimeter. De kleur is groenig met gelige vlekken, de verschillende kleuren zijn te zien doordat bij het naar buiten vloeien er strepen ontstaan zijn. In het

midden zijn nog veel kleine belletjes te vinden, maar aan de rest van het oppervlakte niet. Pas als het plaatje door midden gebroken is, zijn de luchtbellen onder oppervlak te zien.



Figuur 10 uitgehard plaatje



Figuur 11 doorsnede met luchtbellen

Conclusie

Door meer druk toe te voegen is het aantal belletjes afgenomen, vooral aan het oppervlakte. De kleur van het uitgeharde materiaal is niet te bepalen aan de hand van het restpoeder, het restpoeder had een lichtbruin/grijzige kleur en het uitgeharde materiaal is meer groenig.

Test 6.4

Restpoeder uitharden met gewicht

Doel

Na de vorige testen bleken er een hoop luchtbellen te ontstaan tijdens het uitharden van het poeder. Om dit te voorkomen/verminderen wordt een test gedaan met meer druk op het poeder tijdens het uitharden ervan. Hiervoor worden een aantal gewichten boven de mal geplaatst tijdens het uithardingsproces. De gebruikte temperatuur en tijd zijn aangepast op aanbeveling van het coatingbedrijf. Bij het coating poeder bedrijf werd gezegd dat het poeder niet echt te lang in de oven kan en het poeder dus beter te lang dan te kort de tijd moet krijgen om uit te harden, het materiaal zou dan hooguit wat gaan verkleuren.

Benodigdheden

Oven

Mal (125x125mm)

Bovenkant mal (124x124mm)
2 metalen plaatjes (125x125mm)
2 met teflon gecoate glasvezelvellen (125x125mm)
Ethanol
Gewichten (1 van 20N en 2 van 200N)
Coating restpoeder (16,76g)
Weegschaal
Bekerglas
Lab spatel

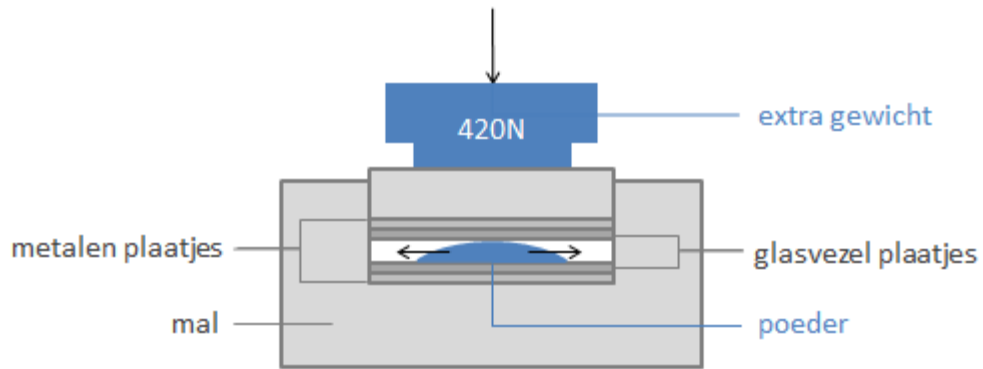
Uitwerking

De oven werd voorverwarmd op 190°C. Tijdens het voorverwarmen worden de metalen plaatjes en glasvelletjes schoongemaakt met ethanol. Daarna wordt het poeder met de spatel in het bekglas geschept en in de weegschaal afgewogen. Het poeder wordt in een hoopje tussen de glasvezel vellen en de metalen plaatjes geplaatst, dit wordt vervolgens in de mal gelegd, deze wordt gesloten en de bovenkant wordt erop gelegd. De mal wordt in de oven geplaatst die 190°C heeft bereikt en hier

bovenop worden de drie gewichten gelegd (figuur 12). De tijd wordt bijgehouden, de mal blijft 28 minuten in de oven.



Figuur 12 mal, plaatjes en gewichten



Figuur 13 schematische weergave mal met gewicht

Resultaten

De mal heeft 28 minuten in een oven van 190°C gezeten, waarbij de mal zelf nog niet voorverwarmd was. Het plaatje dat uit de mal kwam is te zien in figuur 14.

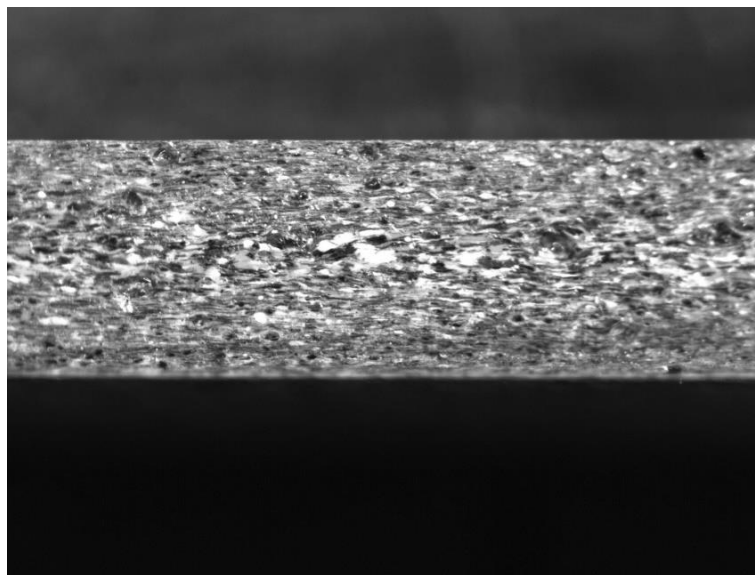


Figuur 1416 uitgehard plaatje



Figuur 15 geen luchtbellen te zien

Het is een plaatje met een dikte van 0,5mm. Op het oppervlak van het plaatje zijn geen luchtbellen te zien. Het plaatje is daarna door midden gebroken om de doorsnede te kunnen zien. Het plaatje is vrij bros ook al zijn er geen bellen te zien in de doorsnede. Om er zeker van te zijn dat er geen luchtbelletjes in het plaatje zitten, is een afgebroken stukje onder de microscoop gelegd. In figuur 16 is de doorsnede van het plaatje te zien met een vergroting van 10x, hier zijn luchtbellen te zien.



Figuur 16 microscoop afbeelding met luchtbellen

Conclusie

Er is een gewicht van 420N boven op een mal van 125mm bij 125mm gelegd. De kracht die op de mal komt is dan $420 / (0,125 \times 0,125) = 26880 \text{ Pa}$. Dit is niet voldoende om alle luchtbellen eruit te krijgen. Maar als het vergeleken wordt met de vorige testen blijkt wel dat hoe meer druk er wordt gebruikt, hoe minder en kleiner de luchtbellen worden.

Test 6.5

Restpoeder uitharden in pers

Doel

Omdat in de vorige test gebleken was dat met een kracht van 26880Pa niet alle luchtbelllen verwijderd kunnen worden, wordt het poeder nu uitgehard in een pers die meer drukkracht kan leveren. Dit is om erachter te komen of uitharden met meer druk de luchtbelletjes kan voorkomen.

Benodigdheden

Grote drukpers (figuur 17)
2 metalen plaatjes van
2 teflon coating glasvezelvellen
Ethanol
Glasvezel stroken
Schaar
Tape (polyimide)
Coating restpoeder (10,27g)
Weegschaal
Bekerglas
Lab spatel



Figuur 17 grote pers

Uitwerking

De mal van 125x125mm die hiervoor gebruikt werd, is niet geschikt om te gebruiken in de grote pers. Dit is omdat bij deze mal de plaatjes niet boven de randen van de mal uitkomen, waardoor de druk op de randen komt in plaats van het poeder.

Een nieuwe mal wordt gemaakt door teflon vellen op een metalen platen te leggen (net als de vorige testen). Vervolgens worden er malranden gemaakt door glasvezel stroken met tape in een vierkant te leggen (figuur 18, bovenaanzicht).

Het poeder wordt vervolgens afgewogen en in het midden van de mal gelegd. Hierboven op wordt

weer een teflon vel en een metalenplaatje gelegd. Dit wordt in het midden van de onderste plaat van de pers gelegd.

Nadat de deur van de pers gesloten is, worden de instellingen ingevoerd. De platen van de pers worden verwarmd tot 190°C.

De kracht wordt eerst ingesteld op 40KN, omdat bij een kleinere waarde de machine het sluiten van de platen niet overneemt (het eerste gedeelte gebeurt met zelf knoppen indrukken, daarna neemt de machine dit over en kun je de knoppen loslaten). Vlak voordat de bovenste plaat van de pers de mal raakt, wordt de waarde van 40KN veranderd in 20KN (kleiner dan dit kan de machine niet)

De platen sluiten zich tegen de mal en de waardes op de machine schieten eerst omhoog naar 80KN en gaat daarna (binnen 5s) naar waardes rond 20KN.

Nadat de mal 15 minuten onder druk tussen de platen heeft gezeten, wordt de druk uitgezet. De warme platen van de pers blijven wel in dezelfde positie

De platen worden gekoeld tot 41°C voordat de mal uit de machine gehaald wordt.



Figuur 18 schematische weergave boven- en zijaanzicht mal

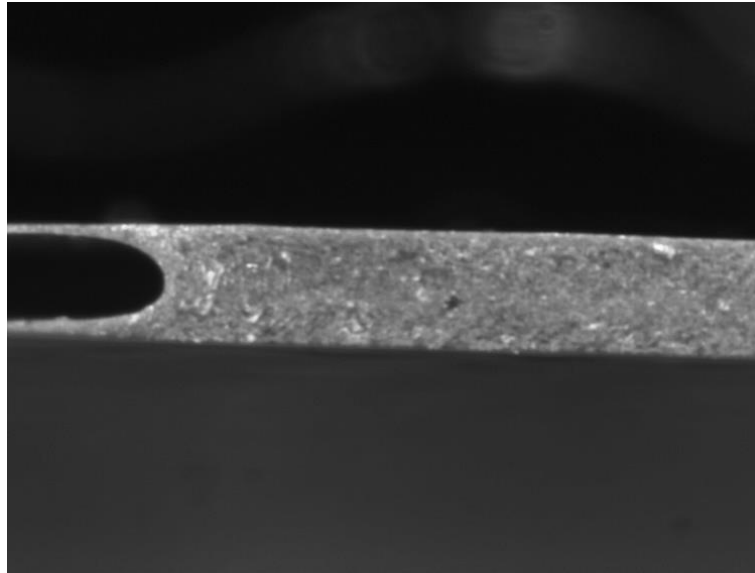
Resultaten

Het plaatje dat uit de machine gehaald is, is te zien in figuur 19.



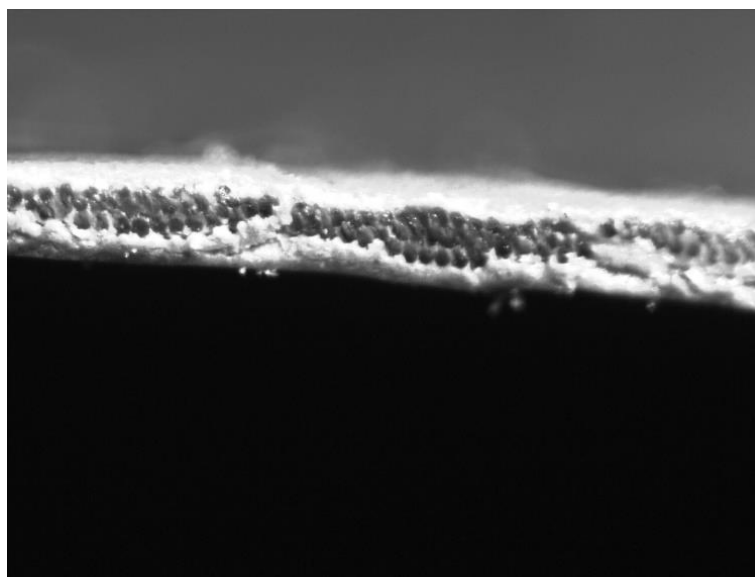
Figuur 19 uitgehard plaatje

De dikte van het middelste gedeelte van de plaat is 0,01mm. Dit gedeelte van het plaatje is zeer bros en bevat zowel grote bubbels die zichtbaar zijn op het oppervlakte, als medium bubbels die alleen te zien zijn in de doorsnede van de plaat. In de doorsnede afbeelding (figuur 20) die gemaakt is met de microscoop (vergroting van 10,0) is te zien dat er naast de grote en medium bellen ook nog kleine belletjes in het plaatje zitten.



Figuur 20 microscoop afbeelding met luchtbellen

Het poeder is door de glasvezel malranden heen gevloeid tijdens de gelfase. De delen waar het materiaal in de glasvezel gedeeltes gevloeid is, zijn veel minder bros. Het kan best wel ver verbogen worden voordat je het materiaal hoort breken, en zelfs dan zijn het kleine scheurtjes en blijft het materiaal best wel intact. Figuur 21 is een afbeelding die gemaakt is met de microscoop (vergroting 10,0) van een glasvezel deel. De donkere binnenkant van de plaat zijn de vezels en het lichte gedeelte daaromheen is het uitgeharde poeder materiaal.



Figuur 21 microscoop afbeelding vezel gedeelte

Conclusie

Het was niet de bedoeling dat het poeder tijdens het uitharden uit de mal zou vloeien. Hierdoor is een erg brosse plaat ontstaan in het midden. Ook is de druk waarschijnlijk te snel op de mal gezet waardoor er grote bellen ontstaan zijn. Als deze test opnieuw gedaan zou worden, is het gebruiken van een juiste mal aangeraden.

Test 6.6

Restpoeder met additief uitharden

Doel

Uitvinden of het toevoegen van anti-foam additieven de vorming van luchtbellen kan tegengaan tijdens het uithardingsproces. Hierbij worden dezelfde parameters gebruikt als in test 6.3, zodat deze resultaten met elkaar vergeleken kunnen worden.

Informatie over anti-foam additief

Ceridust 9615 A : Micronized blend of polyethylene and amide wax (Clariant Ceridust 9615 A, 2013).

APPLICATIONS

In powder coatings it is a very effective degassing agent in all kind of powder coatings. It is also increases the output during extrusion process and improves the flow ability of the powder. Ceridust 9615 A provides slip properties and enhances scratch resistance of the cured powder coating. The fine and free flowing powder is easy to blend with all the other ingredients at the beginning of the production procedure.

Figuur 22 applications anti-foam additief (Ceridust 9615 A, n.d.)

Benodigdheden

Rest poeder (15,03g)

Additief(1,00g)

Oven

Mal (125mmx125mm)

Bovenkant mal (125mmx125mm)

2 metalen plaatjes (125mmx125mm)

2 met teflon gecoate glasvezel vellen (125mmx125mm)

Ethanol

Latex handschoenen

Glasbeker

Spatel

Weegschaal

Ovenhandschoenen

Timer

Uitwerking

De test wordt gedaan op dezelfde wijze als test 6.3, alleen voordat het poeder in de mal gelegd wordt, wordt er anti-foam poeder door het restpoeder gemengd. Oven op 190°C de mal is pas in de oven gegaan toen deze 190°C bereikt had. De mal heeft 28 en een halve minuut in de oven gestaan.

Resultaten

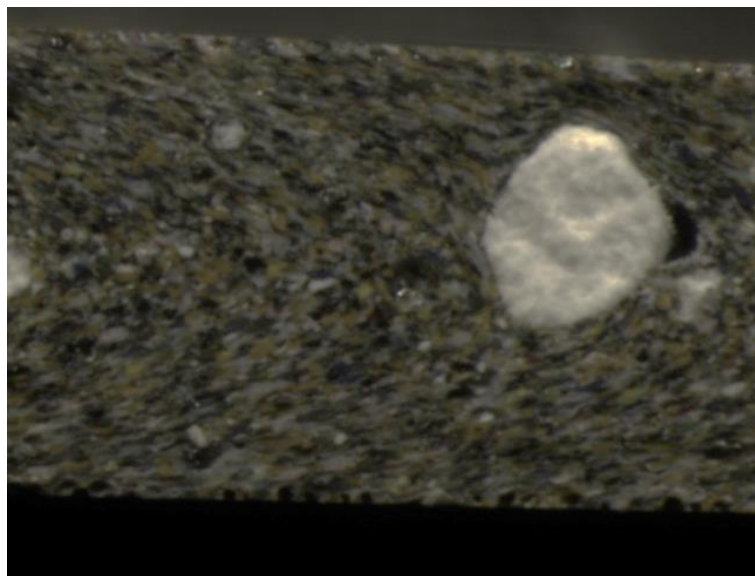


Figuur 23 uitgehard plaatje met anti-foam vlokken



Figuur 24 zijaanzicht met anti-foam vlokken

Plaatje met een dikte van 1 mm. De randen zijn niet goed gaan vloeien. Het witte poeder is in klontjes verdeeld door het plaatje heen. De witte stukjes zijn niet uitgehard, maar hebben nog steeds een poeder. De witte klontjes vallen ook uit het plaatje. In het plaatje zelf lijken geen luchtballen te zitten.



Figuur 25 microscoop afbeelding met anti-foam vlokken en luchtballen

In de doorsnede afbeelding die gemaakt is met de microscoop (figuur 25), zijn de witte vlokken te zien. Ook zijn er kleine luchtbellens zichtbaar.

Conclusie

De poeders zijn niet goed genoeg gemengd. Er zijn nog steeds even veel luchtbellens als bij de test 6.3 zonder het poeder (met dezelfde uithardingsparameters). Aan de randen van het plaatje te zien, is het materiaal waarschijnlijk niet goed genoeg uitgehard.

Test 6.7

Restpoeder met additief uitharden met gewicht

Doel

Aan het poeder anti-foam additieven toevoegen om te kijken of dit belletjes vorming tijdens het uithardingsproces tegen gaat. Dit nu in combinatie met meer gewicht op de mal om zo ook meer druk toe te voegen (evenveel gewicht als in test 6.4, zodat deze samples met elkaar vergeleken kunnen worden), met de verwachting dat de twee poeders beter mengen tijdens de vloeifase.

Benodigdheden

Restpoeder 14,87g

Additief 0,90g

Gewichten (2x 400N en 1x 20N)

Oven

Mal (125mmx125mm)

Bovenkant mal (125mmx125mm)

2 metalen plaatjes (125mmx125mm)

2 met teflon gecoate glasvezel vellen (125mmx125mm)

Ethanol

Latex handschoenen

Glasbeker

Lab spatel

Weegschaal

Ovenhandschoenen

Timer

Uitwerking

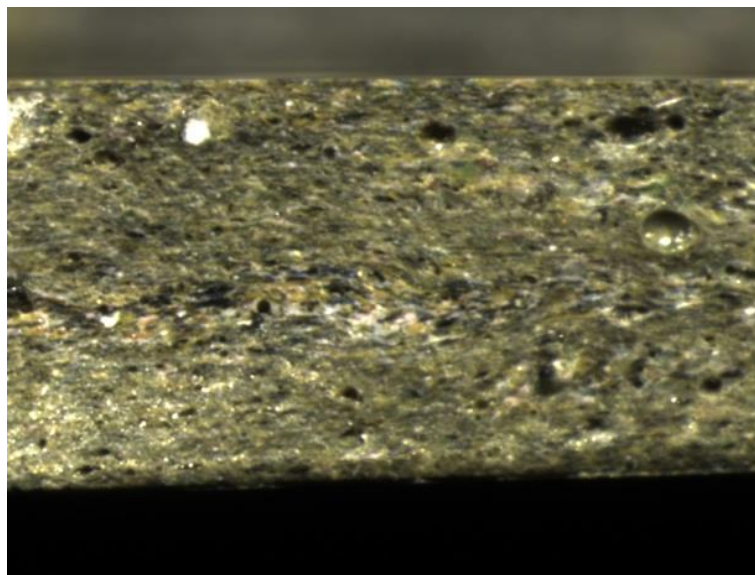
De twee poeders zijn nu beter gemengd dan bij test 6.6. Nadat het poeder tussen de plaatjes gelegd is, wordt het in een voorverwarmde mal gelegd. Deze gaat vervolgens voor 30 minuten in een oven van 190°C.

Resultaten

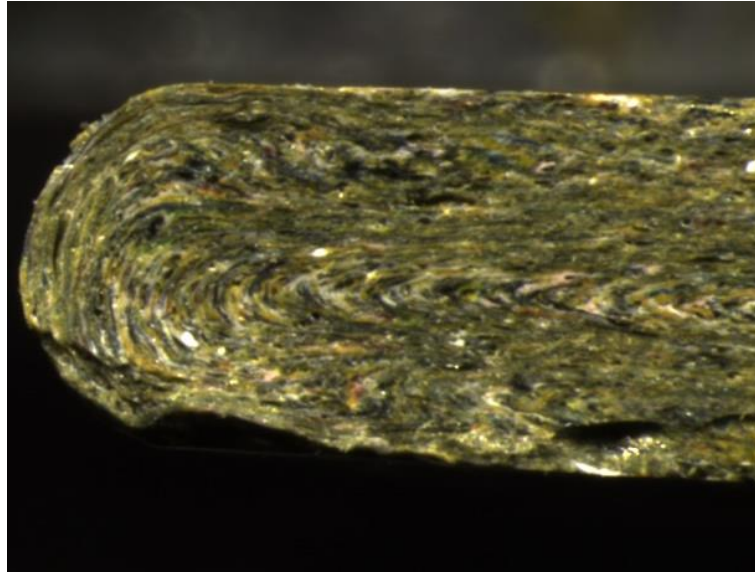
Zoals in figuur 26 te zien is, zitten er nog steeds witte vlokken van los anti-foam poeder in het plaatje. Het aantal witte vlokken is wel veel minder dan in het plaatje van test 6.6. Het materiaal is erg bros, het brak gelijk in twee toen het uit de mal gehaald werd.



Figuur 26 uitgehard plaatje met anti-foam vlokken



Figuur 27 microscoop afbeelding met anti-foam vlokken en luchtbellen



Figuur 28 microscoop afbeelding met vloeï en luchtbellen

In de doorsnede afbeelding die gemaakt is met de microscoop (figuur 27) zijn de witte vlokken te zien. Ook zijn er nog veel luchtbellen in het plaatje te vinden.

Conclusie

Bij de coatingpoeder producent Oxyplast/Protech werd verteld dat het anti-foam poeder met ieder soort coating poeder zou moeten kunnen reageren. De vlokken anti-foam die steeds in het uitgeharde materiaal zitten, liggen niet aan de slechte reactie tussen de twee poeders, maar aan het slechte mengen vooraf. Tijdens het poedercoat proces worden de poeders niet alleen vooraf in de coatingpoeder doos gemengd, maar ook tijdens het spuiten van het poeder op het product vindt er menging plaats. Ook is aan Oxyplast gevraagd naar de werking van het anti-foam poeder. De chemicus vertelde dat het toevoegen van anti-foam poeder zorgt voor een langere gelfase. Hierdoor krijgen luchtbellen die in de poriën van het te coaten oppervlak zitten langer de tijd om door de coating heen te ontsnappen. Normaal wordt het anti-foam poeder vooral gebruikt bij het coaten van metalen met een poreus oppervlak. Een langere gelfase helpt dus niet bij het tegengaan van de vorming van luchtbellen.

Test 6.8

Gel time testen

Tijdens het bezoek aan Oxyplast liet de chemicus zien hoe een geltime tester werkt. Dit is een apparaat, te zien in figuur 29, waarbij het poeder op een metalen plaatje gelegd wordt dat 200°C heeft. Door de hoge temperatuur hardt de kleine hoeveelheid poeder vrij snel uit. Door het poeder te roeren kan gekeken worden of het poeder nog vloeibaar is of al uitgehard is. Met een stopwatch wordt de tijd bijgehouden zodat de gel time bepaald kan worden.



Figuur 29 gel time tester (Gel Time Tester, n.d.)

Doel

Bij de voorgaande testen is het resultaat van het uitharden een erg bros materiaal. Om erachter te komen of de brosheid ligt aan de verkeerde uithardingsparameters of dat het uitgeharde restpoeder bros is wordt een geltimetest gedaan. Hierbij wordt het restpoeder vergeleken met uitgehard polyesterpoeder.

Benodigheden

Warmtebron, gaspit

Oppervlakte, pan

Temperatuurmeter, laser thermometer (figuur 30)

Poeder, restpoeder en polyester poeder

Lepel, eetlepel

Timer, telefoon stopwatch



Figuur 30 laserthermometer

Uitwerking

Omdat er geen gel time tester beschikbaar is moet deze nagemaakt worden. Dit wordt gedaan door een pan op te warmen naar 200°C. De temperatuur van het oppervlakte van de pan wordt gemeten met een laser thermometer. Als deze 200°C bereikt heeft, wordt de gasvlam lager gedraaid en wordt er een afgestreken schep van het poeder in de pan gelegd. Dit wordt geroerd totdat het niet meer in de vloeibare fase is. De tijd hiervan wordt bijgehouden met een stopwatch.



Figuur 31 laserthermometer

Resultaten

Polyesterpoeder had 11s nodig om uit te harden

Restpoeder had de eerste keer 20s nodig om uit te harden

De tweede keer met restpoeder duurde het 19s om uit te harden



Figuur 32 uitgehard polyester



Figuur 33 uitgehard restpoeder

Het uitgeharde polyester is een stevig klontje kunststof geworden, het is niet te breken. De twee restpoeder klontjes zijn daarentegen bros, ze zijn in twee te breken. Na per ongeluk op een van de restpoeder klontjes te gaan staan, is het klontje volledig verpoederd.

Conclusie

Het restpoeder hecht niet even goed uit als het polyesterpoeder. Het vermoeden is dat de verschillende soorten thermoharders en uitharders niet aan elkaar hechten en dat het uitgeharde materiaal vooral door het smelten aan elkaar hecht.

Test 6.9

Controle uithardingstest

Doel

In de vorige testen is iedere keer hetzelfde restpoeder gebruikt. Om zeker te weten dat de uithardingsproblemen van de vorige experimenten niet aan de batch met restpoeder liggen, is nog een uithardingstest gedaan. Hierbij worden drie soorten poeders uitgehard: het hiervoor gebruikte restpoeder, een andere soort restpoeder en een nieuw, ongebruikt polyester poeder.

Benodigdheden

Oven

Restpoeder uit de vorige proef

Ander restpoeder

Glad polyester poeder

3 bakjes

Eventueel een timer, in dit geval had de oven een timer
Stanleymes
Stift



Figuur 34 oven bij het coatingbedrijf

Uitwerking

De oven wordt voorverwarmt tot 200°C. De drie bakjes worden genummerd. Vervolgens worden ze alle drie gevuld met een ander poeder, 1: nieuw restpoeder, 2: polyester poeder, 3: al eerder gebruikt restpoeder. Als de oven 200°C bereikt heeft worden de bakjes erin gezet, hierbij daalde de oven wel tot 177°C. Na 20 minuten zijn de bakjes uit de oven gehaald om af te koelen. Nadat de bakjes afgekoeld zijn wordt er met een stanleymes ingesneden om de brosheid te bepalen.



Figuur 35 polyester poeder, nieuw restpoeder en al gebruikt restpoeder



Figuur 36 genummerde bakjes

Resultaten

Zodra de oven open ging was gelijk te zien welke bakjes het restpoeder bevatte en welke het zuivere poeder. In het bakje met het zuivere poeder is het poeder gaan vloeien tot een gladde laag. In de bakjes met restpoeder is het poeder gaan bubbelen en zwellen. Bij de restpoeder bakjes kan met een beetje kracht het stanleymes door de bovenste laag heen, het materiaal is erg bros. Het zuivere poeder kan vrijwel niet beschadigd worden, het resultaat is een klein krasje in het oppervlakte.



Figuur 37 uitgehard materiaal in de oven



Figuur 38 uitgehard materiaal



Figuur 39 ondiep sneetje in oppervlak

Conclusie

Beide restpoeders reageren erg hetzelfde, alleen het nieuwe restpoeder heeft iets meer luchtvorming. Dit kan liggen aan de verschillende soorten materiaal in de restpoeders, maar ook aan de hoeveelheid poeder. Het verschil tussen de restpoeders en het zuivere poeder is erg duidelijk. De brosheid van het uitgeharde restpoeder ligt niet aan de batch die gebruikt is tijdens de testen. Er vindt tijdens het uitharden van restpoeder waarschijnlijk een gasvorming plaats.

8 Primertesten

Test 8.1

Primerlaag op metaal

Doel

Erachter komen of het restpoeder nog gebruikt kan worden als nieuwe laag of als primer. Hiervoor wordt gekeken of het restpoeder na poedercoaten en moffelen goed hecht aan het metalen oppervlak.

Benodigheden

Restpoeder

3 metalen plaatjes, met gaatjes om op te kunnen hangen

Haakjes

Poedercoat installatie (dus een pistool, rails, oven, afzuigstelsel)

Stanleymes

Laagdikte meter

Uitwerking

Als eerste worden de drie metalen plaatjes met behulp van twee haken aan een rails gehangen die in en uit de oven kan. Vervolgens worden ze alle drie aan een kant gecoat met een laag van het restpoeder. Ze gaan alledrie tegelijk de voorverwarmde oven van 190°C in, doordat de oven open moet zodat de plaatjes erin kunnen, daalt de temperatuur van de oven tot ongeveer 180°C. Door de mix van verschillende materialen is de precieze uithardingstijd niet bekend, daarom gaan de verschillende plaatjes voor verschillende tijden in de oven:

Plaat 1: 10 minuten op ongeveer 180°C

Plaat 2: 15 minuten op ongeveer 180°C

Plaat 3: 20 minuten op ongeveer 180°C



Figuur 40 gepoedercoat plaatje

Resultaten

Het oppervlakte van de coatinglaag is niet egaal, er zijn kraters en stofdeeltjes te zien. Wel is de laag dekkend, er is geen metaal oppervlakte meer te zien door de restpoeder coatinglaag heen.

Na dat de plaatjes afgekoeld zijn, is met een dikte meter de laagdikte van de coatings gemeten. Plaat 1: 40µm, plaat 2: 60µm (en 65µm), plaat 3: 80µm. Deze dikte hangt af van de hoeveelheid poeder die tijdens het poedercoaten op het oppervlak gespoten is.

Er lijkt geen verschil te zijn tussen de verschillende uithardingstijden qua resultaten. Bij alle drie de plaatjes is een hechtingstest gedaan door met een stanleymes een ruitje in de coatinglaag te snijden. Als de verf dan van de onderlaag af bladert, is er geen goede hechting. Bij geen dan de drie plaatjes bladert er verf af, er is dus een goede hechting.



Figuur 41 uitgeharde coating



Figuur 42 stof en kraters in de coatinglaag



Figuur 43 hechtingstest met goede hechting

Conclusie

Het stof dat in de coatinglaag te vinden is, is tijdens het eerste poeder coat proces in het restpoeder gekomen. De kraters die aan het oppervlak te zien zijn, zijn waarschijnlijk ontstaan door de luchtbelvorming die ook te zien was tijdens de uithardingstesten.

De coatinglaag is een mix van poeders die samen niet goed hechten, zoals het resultaat was uit de uithardingsexperimenten. Toch hecht de mix van poeders wel goed aan het metaal. Dit is waarschijnlijk omdat de verschillende materialen los van elkaar wel een goede hechting met het metaal aan gaan. Ook biedt het hechten aan een oppervlak meer stevigheid, dan een los plaatje heeft.

Test 8.2

Toplaag over primerlaag

Doel

Als het restpoeder gebruikt kan worden als primerlaag, moet er ook gekeken worden naar de hechting van de toplaag aan het restpoeder en naar de dekking van de toplaag. Daarom wordt er op een van de gepoedercoatte plaatjes een tweede coating aangebracht.

Benodigdheden

Glad buitenbestendig polyester poeder

Metalen plaat met een restpoeder primerlaag die niet volledig uitgehard is

Haakjes

Poedercoat installatie (dus een pistool, rails, oven, afzuigstysteem)

Stanleymes

Laagdikte meter

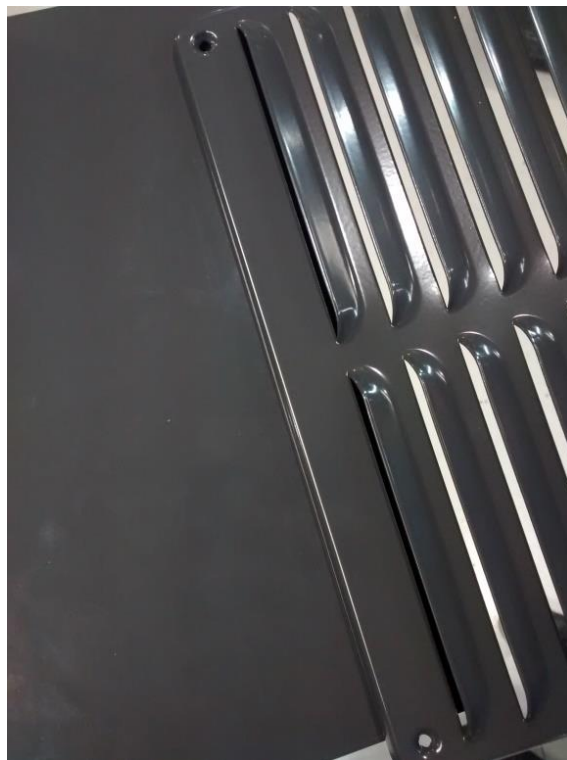
Uitwerking

Een gecoatte plaat uit test 8.1 wordt nadat deze volledig afgekoeld is weer gepoedercoat. De toplaag is een gladde buitenbestendige polyester. De reden dat dit materiaal is gekozen voor de bovenlaag, is dat tijdens de test er in de poedercoat hal net een lijn gecoat werd met deze polyester. Het plaatje is tussen de andere producten in de lijn gehangen en gecoat. Doordat er meerdere producten met deze laag gecoat werden, kon het plaatje na afloop met deze producten vergeleken worden om te kijken of de kleur dekkend was.

Nadat het plaatje gecoat was met het polyester, is het 10 minuten in de oven geweest om uit te harden. Daarna is het plaatje uit de oven gehaald, afgekoeld en is er een hechtingstest gedaan met het stanleymes.

Resultaten

Het oppervlakte van de coatinglaag ziet er beter uit dan alleen de restpoederlaag, maar er is nog steeds stof zichtbaar en de kraters komen ook een beetje door de toplaag heen. Bij de hechtingstest met het stanleymes bladert er geen verf af en ook als je over de inkepingen heen krast, laat de verf niet los. De kleur van de toplaag is vergeleken met de kleur van een product dat geen primerlaag gekregen heeft, dit is te zien in figuur 44. Er geen verschil te zien in de twee kleuren. Er moet hierbij wel rekening gehouden worden met de lichte kleur van het restpoeder en de donkere kleur van de toplaag.



Figuur 44 plaat met primer en product zonder primer

Conclusie

Aan de hand van de hechtingstest kan gezegd worden dat de toplaag goed aan de restpoederlaag hecht. De verf bladert niet en blijft goed zitten. Tijdens het moffelproces zijn er crosslinks gevormd tussen de restpoederlaag en de toplaag, waardoor er een goede hechting is. Dit is waarschijnlijk

doordat er in deze batch restpoeder minstens één soort poeder zit die een goede hechting met de polyester bovenlaag aan kan gaan. Zoals besproken bij het coating bedrijf, het is waarschijnlijk geluk dat net deze laag blijft hechten. Er werd gezegd dat er bij een restpoeder met bijvoorbeeld een wasachtige additief, het additief naar het oppervlakte vloeit en voorkomt dat er een tweede coating aan de primerlaag kan blijven hechten.

Daarom kan ik bij dit experiment aanbevelen om het nog een paar keer te testen, maar dan met andere soorten restpoeder. Hierbij moet worden uitgezocht hoeveel procent van het restpoeder met de toplaag moet kunnen hechten om als goede primer te kunnen functioneren en welke additieven in dit geval voorkomen moeten worden. Deze resultaten zouden gebruikt kunnen worden als iedere batch met restpoeder van te voren op samenstelling getest wordt, of als de verschillende soorten poeders toch gescheiden worden tijdens het poeder coating proces.

Test 8.3

Verflaag over restpoeder primer

Doel

Nadat gebleken is dat het restpoeder als primer gebruikt kan worden, is getest of er behalve een tweede poedercoating, ook een normale verflaag over de restpoeder primerlaag kan en of deze goed hechten aan elkaar.

Benodigdheden

Een plaatje uit test 8.1 dat gecoat is met een restpoeder primerlaag

Verdunning BFG-271 (Bijlage B8)

Kwast

Uitwerking

Een van de plaatjes uit experiment 8.1 krijgt een toplaag met normale verf. De verflaag heeft twee dagen liggen drogen voordat de hechtingstest met het stanleymes gedaan is.

Resultaten

In eerste instantie lijkt de verflaag er goed op te zitten. De bovenste laag dekt goed, er is geen doorschijnendheid van de restpoeder kleur. Met het stanleymes wordt een ruitje gemaakt op de plaat. Aan de randen van de sneetjes bladert de bovenste verflaag eraf. Aan de randen van de toplaag bladert de verf ook eraf.



Figuur 45 extra verflaag



Figuur 46 hechtingstest met slechte hechting

Conclusie

Er is geen goede hechting tussen de restpoeder primerlaag en de bovenste verflaag. Dit is omdat er geen chemische binding is tussen de twee lagen. Normaal gezien hard de primerlaag uit in de oven aan de toplaag. Deze twee vormen dan crosslinks met elkaar voor een goede hechting, dit gebeurt nu niet want de coating wordt niet verwarmt.

9 Fillertesten

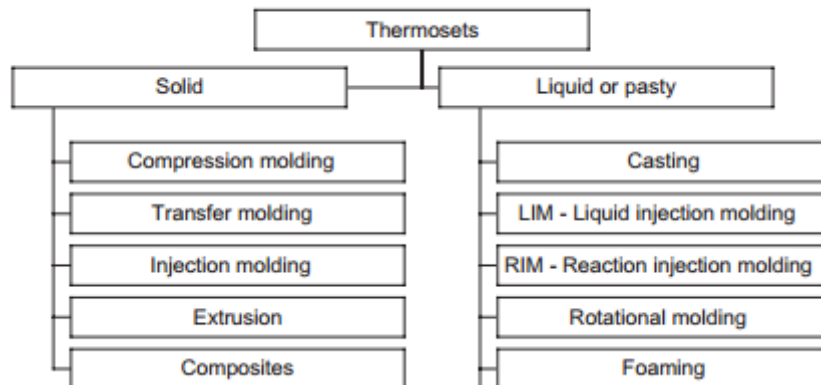
De filler testen zijn te vinden in het confidentieel bijlageverslag.

Bijlage B

6 Uitharden

6.1 Productie processen

Er bestaan verschillende processen om thermoharders uit te harden en te verwerken. Deze worden in dit hoofdstuk toegelicht. De methoden zijn ingedeeld op de vorm van het beginmateriaal, vast of vloeibaar.



Figuur 1 Thermoharder productie methodes (Biron, Thermoset Processing, 2014)

Vast

Het beginmateriaal voor deze processen is in vaste vorm. Dit is vaak in de vorm van granulaat korrels. Deze verwerkingsmethoden zouden dus geschikt zijn om of het materiaal in poedervorm te verwerken of nadat dit omgesmolten is naar een granulaatvorm.

Persvormen

Bij persvormen wordt gebruik gemaakt van een mal waar het te bewerken materiaal in gelegd wordt (Thermoset Transfer/ Compression Molding, n.d.). De twee verwarmde delen worden vervolgens met hoge druk gesloten. Op deze manier vult het materiaal de mal en hard uit (Biron, Thermoset Processing, 2014).

Overdracht gieten

Bij overdracht gieten wordt ook gebruik gemaakt van een mal. Maar in tegenstelling tot bij persvormen wordt het materiaal pas toegevoegd na het sluiten van de twee maldelen. Door een transfer ram wordt het materiaal onder hoge druk de verwarmde mal in geduwd (Biron, Thermoset Processing, 2014). Bij overdracht gieten hoeft het beginmateriaal niet perse een vaste vorm te hebben, maar dit kan wel.

Spuitgieten

Bij spuitgieten wordt het materiaal in de mal gespoten door middel van een extrudeer schroef met een verwarmingsgedeelte. Hiervoor worden vaak kunststof granulaatkorrels als beginmateriaal gebruikt.

Extrusie

Net als bij spuitgieten wordt er een extrudeer schroef gebruikt. Het verschil tussen spuitgieten en extrusie is dat er bij extrusie geen mal wordt gebruikt. In plaats daarvan wordt het vloeibare materiaal door een profiel gespoten. Met extrusie kunnen dan ook alleen profielen gemaakt worden (Kals, et al., 2012).

Vloeibaar

Bij deze verwerkingsmethoden is het beginmateriaal vloeibaar. Als deze methoden gebruikt willen worden om het poeder te verwerken, moet er dus eerst onderzocht worden of het poeder vloeibaar te krijgen is en welke parameters daarbij horen, zoals temperatuur, viscositeit en afkoelsnelheid.

Gieten

Bij gieten met een vloeibaar materiaal wordt de mal gevuld met de hulp van de zwaartekracht (Biron, Thermoset Processing, 2014).

Liquid injection moulding (LIM)

LIM lijkt erg op spuitgieten, maar hier worden twee soorten vloeibaar materiaal door middel van een pomp door de extrudeerschroef gepompt. Deze productie methode wordt gebruikt om vloeibare silicone rubbers te produceren en is daarom niet relevant voor dit project.

Reactie spuitgieten (reaction injection moulding, RIM)

RIM is een proces dat erg lijkt op spuitgieten, maar is alleen te gebruiken voor thermoharders. Het bindmiddel en de uitharders worden pas gemengd met elkaar vlak voor ze de matrijs ingaan en harden daarna samen uit in de mal (RIM (Reaction Injection Moulding), n.d.).

Rotatie gieten

Nadat de juiste hoeveelheid materiaal is toegevoegd wordt de matrijs gesloten. De verwarmde matrijs wordt vervolgens om 2 assen rondgedraaid. Op deze manier kunnen holle producten geproduceerd worden. Bij rotatiegieten naast een vloeibaar materiaal ook poeder gebruikt worden als beginmateriaal.

Schuimen

Onder druk wordt er een gas of een vloeistof toegevoegd aan het kunststof materiaal. Door vervolgens de druk omlaag te brengen of de temperatuur te veranderen, zet het gas/de vloeistof uit. Hierdoor zet ook het basismateriaal uit en ontstaat er een schuim.

6.2 Datasheet Polyesterpoeder

OXYPLAST PE54

Een TGIC-vrije industriële polyester poedercoating

BESCHRIJVING	OXYPLAST PE54 is een TGIC-vrije polyester poedercoating voor industriële applicaties. Het gamma omvat zowel gladde coatings, als coatings met een speciale oppervlaktestructuur, al dan niet gecombineerd met een metallisch aspect (fijne structuur "Sandtex" – ST, grove structuur "Texture" – WR, antiek finish "Vein" – A, hamerslag finish – H).	
EIGENSCHAPPEN VAN HET POEDER	• Densiteit (g/cm³) (ISO 8130-2:1992) afhankelijk van de kleur (wit: 1.65) • Korrelgrootte Geoptimaliseerd voor electrostatische applicatie en in functie van het coating aspect. • Geltijd 180 °C (ISO 8130-6:1982) 160 - 220 s • Stockage Droog, bij max. 25 °C: minstens 3 jaar PE54/(TR)M.../WR poeders: minstens 6 maanden • Aanbrengen Met Corona-pistool of tribo-pistool (PE54/TR poeders) Laagdikte: ° 60 - 120 µm (gladde standaardkleuren) ° 80-100 µm (gladde coatings met metallisch aspect) ° 70-90 µm (fijne structuur "Sandtex" ST) ° 100-120 µm (groe structuur "Texture" WR, antiek finish "Vein" A, hamerslag finish H) • Moffelschema 5 min. op 200 °C (metaaltemperatuur) 10 min. op 180 °C (metaaltemperatuur) 18 min. op 170 °C (metaaltemperatuur) Bij voorkeur beneden 200 °C (metaaltemperatuur)	
MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE COATING	• Substraat Koudgewalst staal (0,8 mm), ontfet • Moffelschema 10 min. 180 °C (metaaltemperatuur) • Laagdikte (ISO 2808:1997) 60 - 80 µm (gladde coating) • Glans 60° (ISO 2813:1994) 50-100 % (gladde coatings) 2-50 % (speciale oppervlaktestructuur) • Adhesie (ISO 2409:2007) Gt 0 • Buchholz hardheid (ISO 2815:1973) ≥ 80 • Potloodhardheid (ASTM D3363-00) H - 2H • Clemenhardheid (ISO 1518:1992) ≥ 3 kg • Erichsen (ISO 1520:1993) ≥ 5 mm • Impact (direct) (ISO 6272:1993) ≥ 20 kg.cm • Impact (omgekeerd) (ISO 6272:1993) ≥ 20 kg.cm • Conische doorn (ISO 6860:1984) max. 40 mm <u>OPMERKING:</u> Door het gebruik van structuuradditieven en de hogere minimum laagdikte, vertonen de coatings met een speciale oppervlaktestructuur meestal een iets lagere flexibiliteit.	

6.3 Datasheet

Epoxy-polyesterpoeder

OXYPLAST EPOXY-POLYESTER HB30

BESCHRIJVING

OXYPLAST HB30 is een laagmoffelende, thermohardende poederlak op basis van epoxy en polyester harsen die, na polymerisatie bij 160 - 165 °C, een decoratieve en beschermende bekleding vormt, met een goede weerstand tegen vergeling bij hoge temperatuur.

EIGENSCHAPPEN VAN HET POEDER

Smelttraject (Kofler)	:	75 - 105 °C
Densiteit (DIN 55990/3)	:	1,65 ± 0,05 (wit)
Korrelgrootteverdeling (Laserdiffractie)		
Diameter (micron)		% kleiner dan
32		46 ± 14
63		77 ± 11
80		88 ± 8
100		96 ± 4
Gelvormingstijd 180 °C (DIN 55990/8)	:	80 - 120 seconden

AANBRENGEN VAN HET POEDER

OXYPLAST HB30 kan elektrostatisch aangebracht worden door middel van klassieke spuitpistolen die een negatieve spanning van 60-80 kilovolt kunnen verwezenlijken. De doorharding van het poeder zal plaats hebben in een geschikte convectoroven.

Moffelschema : 15 minuten op 160 °C (metaaltemperatuur)
10 minuten op 165 °C (metaaltemperatuur)
5 - 7 minuten op 180 °C (metaaltemperatuur)

7 Uitharden met vezels

Productie processen

Er bestaan verschillende processen om vezelversterkte composieten te maken. Deze worden in deze bijlage toegelicht. De methoden zijn ingedeeld op de vorm van het beginmateriaal, vloeibaar of prepreg.

Vloeibaar

Wikkelen

Hierbij worden de vezels eerst door een bad van vloeibaar resin gehaald voordat ze op een roterende matrijs gewonden worden in een voorbedacht patroon.

Pultrusie

Pultrusie is een continue proces waarbij de vezels door een bad van resin worden gehaald om iedere vezel goed met resin te impregneren. Daarna worden ze net als bij extruderen door een profiel gebracht waar ze gevormd worden.

Rotatie giet

Een mat van stukjes vezels wordt in een holle matrijs gelegd. De resin wordt daarna in de matrijs gespoten die om twee assen roteert. Het resultaat hiervan zijn holle producten.

Hand lamineren/ roving spuiten

De vezels worden handmatig in een open matrijs gelegd waarna vervolgens de hars overheen wordt gegoten of de hars wordt samen met de vezels op de mal gespoten. Daarna wordt met behulp van rollers de lucht handmatig uit de laag gehaald.

Structural reaction injection moulding (SRIM)

Bij dit proces worden net als bij reaction injection moulding twee resin componenten in een matrijs gespoten waar ze een reactie met elkaar aangaan om uit te harden. Bij structural injection moulding bevinden zich voor het spuitgieten al vezels in de matrijs (Ashida, 2006).

Prepreg

Een prepreg is vel van met hars geïmpregneerde vezels (McNaught & Wilkinson, 2014). Prepreg staat dan ook voor preimpregnated fibres.

Autoclaaf vormen

Een autoclaaf is een gesloten drukvat waarin de druk en temperatuur ingesteld kunnen worden. Een prepreg wordt in een autoclaaf op een enkelzijdige matrijs gelegd. Door een verhoogde druk en temperatuur vormt de prepreg om de matrijs heen en hard uit. Deze techniek wordt vooral gebruikt in de lucht- en ruimtevaart en voor het maken van onderdelen voor racewagens.

Persvormen

Persvormen werkt met vezels vrijwel hetzelfde als zonder vezels. Alleen nu wordt er een prepreg in een van de matrijshelften gelegd, die vervolgens door de verwarmde matrijs te sluiten de juiste vorm

aanneemt

Vacuüminjectie/infusie

Een prepreg wordt in een rubberen zak of onder een vel van rubber gelegd. Vervolgende wordt hier druk opgezet om alle lucht en teveel aan resin uit de zak te verwijderen.

Hars overdracht gieten

Overdrachtsgieten waarbij de vezels in de matrijs worden gelegd voordat het matrixmateriaal door de transfer ram de matrijs ingedruwd wordt.

8 Primer

Veiligheidsinformatieblad

Veiligheidsinformatieblad volgens 1907/2006/EG, Artikel 31

afdrukdatum: 25.09.2014

Versie: 18

Revisie datum: 25.09.2014

RUBRIEK 1: Identificatie van de stof of het mengsel en van de vennootschap/ onderneming

- **1.1 Productidentificatie**
 - Handelsnaam: VERDUNNING BFG 271
 - Artikelnummer: VERDBFG271
 - **1.2 Relevant geïdentificeerd gebruik van de stof of het mengsel en ontraden gebruik**

Geen verdere relevante informatie verkrijgbaar.
 - **Productcategorie** PC9a Coatings en verven, verdunners, verfabijtmiddelen
 - **Toepassing van de stof / van de bereiding**

oplosmiddel tbv verdunnen van coatings en reiniging van gereedschap
 - **1.3 Details betreffende de verstrekker van het veiligheidsinformatieblad**
 - **Fabrikant/leverancier:**

Zandleven Coatings B.V.
Snekertrekweg 57-59, 8912 AA LEEUWARDEN, Netherlands
Tel: +31 58 2129545 Fax: +31 58 2155996
E-mail: info@zandleven.com Internet: www.zandleven.com
 - **Inlichtingengevende sector:** R&D department: sds@zandleven.com
 - **1.4 Telefoonnummer voor noodgevallen:**

Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC)
+ 31 (0)30 2748888 (uitsluitend bestemd om artsen te informeren bij accidentele vergiftigingen)
- Leverancier
+31 (0)58 2677590 (tijdens kantooruren)