

Kunststoffen in de machinebouw II



Lectoraat Kunststoftechnologie

Colofon

Titel: Kunststoffen in de Machinebouw II

Publicatienummer: LKT-COMH-105709-1801

Datum: Juni 2018

Auteurs: Freek Noordhuis, M.Sc
Jasper Bouwmeester, M.Sc, M.B.A
Ghassan Radha, M.Sc
Bert-Jan Roeterdink, M.Sc
Paul Dijkstra, B.Eng.

Subsidieverstrekker: Green PAC

Met medewerking van: DGS
Flamco
Hessels
ICO
MOBA

Fotografie: Windesheim Zwolle

Dit is een uitgave van Christelijke Hogeschool Windesheim. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorwoord

Dit rapport geeft de inhoudelijke eindrapportage van de uitgevoerde werkzaamheden binnen het Green PAC project Kunststoffen in de Machinebouw II. Green PAC is een initiatief van Stenden Hogeschool en Hogeschool Windesheim. Binnen Green PAC wordt toegepast onderzoek gedaan, kennis ontwikkeld en worden (versnelde) innovaties gerealiseerd door een unieke samenwerking tussen hogescholen, universiteiten en bedrijven in de kunststofindustrie.

Door gebruik te maken van de verschillende faciliteiten die Green PAC biedt, wordt het bedrijfsleven in staat gesteld om tegen gunstige voorwaarden innovatieve projecten te ontwikkelen en uit te voeren. Daarnaast richt Green PAC zich op het onderwijs in Noordoost-Nederland om de innovatiekracht rond Kunststoftechnologie te versterken.

Met de omschrijving Kunststoffen in de Machinebouw wordt nagestreefd om de mogelijkheden van kunststoffen in de machinebouw onder de aandacht te brengen. Kunststoffen hebben andere eigenschappen dan metalen. Door kunststoffen op een slimme manier in te zetten kunnen ze voor bepaalde toepassingen voordelen opleveren in de machinebouw.

Het huidige onderzoek is uitgevoerd onder leiding van de onderzoekers van het Lectoraat Kunststof Technologie (LKT) van de hogeschool Windesheim. Hierbij waren ook studenten en het bedrijfsbureau van de technische studies betrokken. De deelnemende bedrijven in het project waren DGS, Flamco, Hessels zeefbanden, ICO en MOBA.

De resultaten van het project zullen in de belangstelling worden gebracht door middel van presentaties en publicaties, waarvan een aantal in het overzicht van referenties van deze rapportage gemeld wordt. De projectdeelnemers zien terug op een leerzaam, inspirerend en succesvol project.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Namens het projectteam,

Freek Noordhuis, M.Sc
Projectleider
Zwolle, Juni 2018

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
1. Inleiding	3
2. De markt van kunststoffen in de machinebouw	4
2.1 Typen kunststof	4
2.2 Vezelversterkte kunststoffen (VVK)	7
2.3 Toepassingen in de machinebouw	7
2.4 Toepassingen voor 3D printing in de machinebouw	9
3. Flamco – Kerndeel vuilafscheider voor CV-systemen	11
4. Hessels – Zeefbanden	26
5. ICO – Composite wheel loader bucket	32
6. Lectoraat Kunststoftechnologie – SLS Printing	39
7. MOBA – Onderdelen voor eiersorteermachines	49
8. Conclusies en aanbevelingen	57
Contactgegevens Projectpartners	58
Contactgegevens Lectoraat Kunststoftechnologie	59

1. Inleiding

In juli 2014 is het project Kunststoffen in de Machinebouw gestart met 7 projectpartners en het lectoraat Kunststoftechnologie. Dit project is gefinancierd door Green PAC en in april 2016 afgerond. De onderzoeksvraag van dit project was: "Wat zijn de mogelijkheden van kunststoffen in de machinebouw en is het door slim gebruik van deze materialen mogelijk om modulair te construeren?"

Er bleek bij de bestaande partners en nieuwe partners de vraag te zijn naar een vervolg op dit project. Zodoende is Kunststoffen in de Machinebouw II in gestart. Aan dit project hebben 5 bedrijven, 4 docenten, 2 junior onderzoekers en 20 studenten een kleine 2 jaar gewerkt.



Figuur 1: Projectpartners binnen dit project.

Onderzoeksvraag

Tijdens het voorgaande project ontstond er gedurende het project ook de vraag naar de levensduur van kunststoffen voor bepaalde toepassingen in de machinebouw. Met name naar 3D geprinte componenten onderhevig aan verschillende omstandigheden. Ook bleek het goed verbinden van (vezelversterkte) kunststoffen nog uitdagend te zijn. Een lichte constructie met een complexe of onnodig zware verbinding is meestal niet een slimme oplossing. Hieruit is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

Welke kennis heeft de machinebouw nodig voor het herontwerpen van staal naar kunststof (al dan niet vezelversterkt of 3D geprint)?

Levensduur: Hoe verhoudt deze zich ten opzichte van staal? Zijn hier bijvoorbeeld grote voordelen te halen omdat corrosie bij kunststoffen geen probleem is?

3D printen: wat zijn de mogelijke toepassingen van 3D geprinte producten in de machinebouw? Kan 3D printtechniek gebruikt worden als alternatief voor gespuitsgiete onderdelen of metalen onderdelen?

Tribologie: hoe is de slijtage van (3D geprinte) kunststoffen ten opzichte van de huidige materialen?

Hybride verbindingen: In hoeverre kunnen (vezelversterkte) kunststoffen een reëel alternatief voor metaal vormen of kunnen ze gecombineerd worden tot een hybride uitvoering? Hierbij is naast technisch mogelijke haalbaarheid vaak ook de manier van verbinden doorslaggevend is.

In bovenstaande vraagstukken ligt het raakvlak met het lectoraat Kunststoftechnologie. Het lectoraat heeft de beschikking over verschillende 3D printers waar met name de SLS printer zeer geschikt is voor dit onderzoek. Daarnaast heeft het lectoraat ook de faciliteiten van een composieten-lab waar verschillende samples en verbindingen van (vezelversterkte) kunststoffen onderzocht kunnen worden. Voor de levensduurbepaling heeft het lectoraat de beschikking over o.a. een tribometer en een klimaatkast.

2. De markt van kunststoffen in de machinebouw

In de machinebouw is van oudsher staal hét constructiemateriaal. Redenen hiervoor zijn: hoge stijfheid en sterkte, relatief lage kosten en de mogelijkheden om middels bewerkingen klantspecifieke producten te maken.

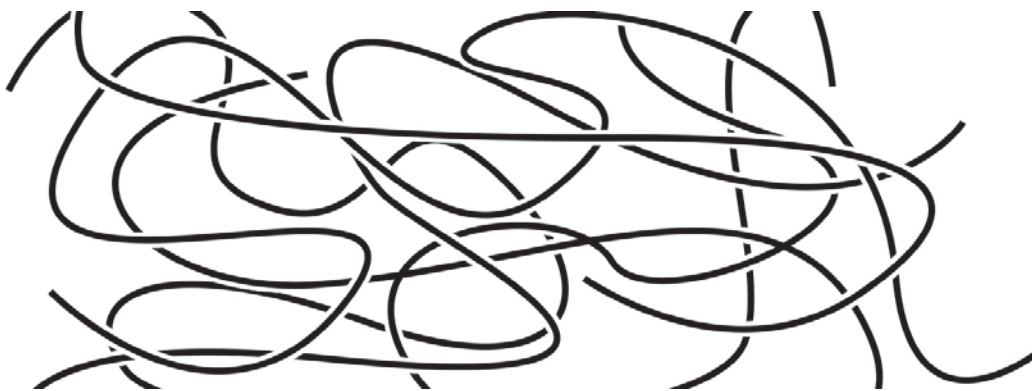
Staal heeft echter ook nadelen: het kan gemakkelijk corroderen (roesten) en is relatief zwaar. Deze nadelen hebben kunststoffen niet. Kunststoffen bieden veel interessante mogelijkheden in de machinebouw. Het vakblad "De Constructeur" heeft in februari 2014 speciaal een artikel gewijd aan dit onderwerp met als titel "*Meer mogelijk met kunststof*" en als ondertitel "*Productontwerpers hebben meer keuzemogelijkheden dan ooit. Het hoeft niet langer metaal te zijn: kunststoffen vormen voor alsmaar meer toepassingen een goed en vaak beter alternatief*". Het vakblad "Kunststof en Rubber" heeft rond dezelfde tijd, maart 2014, ook een artikel gewijd aan dit onderwerp: "*Vraag naar kunststofkennis nog altijd groot doordat kunststoffen in de reguliere constructeursopleidingen onderbelicht worden*". In maart 2014 toonden ESEF exposanten op deze grootste sub-contracting beurs van de Benelux tal van producten waar het materiaalgebruik het innovatieve karakter bepaalden. Ook hier was kunststoffen het hoofdonderwerp. De kunststoffenbeurs van de Benelux in Veldhoven had in 2014 ook het thema; "*Van metaal naar kunststoffen*". Hieruit viel op te maken dat het onderwerp **Kunststoffen in de Machinebouw** bij verschillende partijen de aandacht had en wij daar goed op inspeelden.

Kunststoffen hebben echter andere eigenschappen dan metalen en vormen voor bepaalde applicaties een beter alternatief. Denk hierbij aan gewicht in relatie met energiebesparing, corrosie in relatie met levensduur en seriematige productie in relatie tot kostprijs.

2.1 Typen kunststof

Zonder in al te veel detail te treden willen we hier toch voor de begripsvorming de wereld van de kunststoffen kort toelichten. Kunststof is namelijk een containerbegrip.

Kunststoffen zijn alle opgebouwd uit zogenaamde polymeren. Polymeren zijn zeer lange moleculen die de basis vormen van de kunststof. Deze polymeerketens zitten meestal als een soort kluwen in elkaar. Verder worden er aan deze polymeren nog meestal stoffen toegevoegd (additieven). Het geheel wordt dan kunststof genoemd.

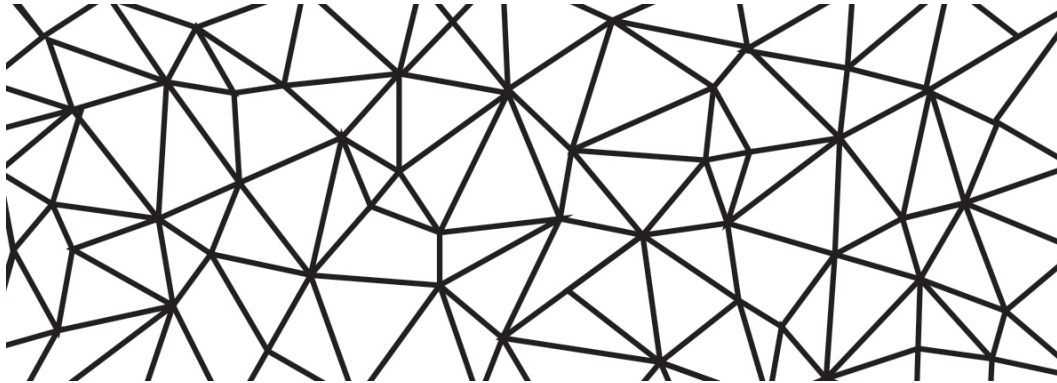


Figuur 2: Schematische weergave van kluwen polymeerketens in een kunststof.

Omdat polymeerketens zijn opgebouwd uit heel veel (poly) kleine moleculen worden ze vernoemd naar bouwstenen waaruit ze zijn opgebouwd, bijvoorbeeld:

Poly Etheen (=heel veel etheen aan elkaar),	afgekort:	PE
Poly Propeen (=heel veel propeen aan elkaar),	afgekort:	PP
Poly Styreen (=heel veel styreen aan elkaar),	afgekort:	PS
Etc.		

De eerste scheiding die aangebracht kan worden in de kunststoffen is tussen thermoplastische en thermohardende kunststoffen. Het eerste type kan door verwarmen zacht en verwerkbaar gemaakt worden, vervolgens wordt dit type na afkoeling weer hard. De thermohardende kunststoffen verweken wel iets bij verwarmen maar zowel hun vormvastheid als hun hardheid blijven bewaard. Dit komt omdat bij thermohardende kunststoffen de polymeerketens onderling zijn verbonden tot een netwerk.



Figuur 3: Schematische weergave van een vernette structuur bij een thermohardende kunststof.

Een bijzondere groep van kunststoffen die tussen thermoplastische- en thermohardende kunststoffen in zit zijn de rubbers, ook wel elastomeren genoemd. De rubbers zijn opgebouwd uit polymeren die echter niet heel sterk zijn vernet, waardoor ze erg elastisch (rubberachtig) zijn.

De tweede scheiding die gemaakt kan worden in de kunststoffen is op basis van de karakteristieke temperaturen T_g (glas temperatuur of verwekingstemperatuur) en T_m (smelttemperatuur). Deze twee kenmerkende temperaturen hangen samen met de verschijningsvorm van de polymeerketens: ongeordend (amorf) of geordend (kristallijn). Een amorf polymeer (bijvoorbeeld polycarbonaat) heeft een duidelijk verwekingspunt (T_g). Beneden deze temperatuur gedraagt het materiaal zich glasachtig. Zodra deze temperatuur gepasseerd wordt, worden de ketens beweeglijker en verweekt het materiaal. Er zijn echter materialen die boven de T_g een geleidelijke verweking bij toenemende temperatuur kennen en duidelijk smeltpunt hebben. Deze materialen (voorbeelden zijn de thermoplasten polyethyleen en polypropyleen) worden semi-kristallijn genoemd.

Het betekent dat sommige delen van de ketens in een kristalrooster geplaatst kunnen worden. Wanneer de T_m van dit type materialen gepasseerd wordt, komen de ketens in de kristallijne gebieden los van elkaar en wordt de kunststof vloeibaar. Bij thermoharders treedt door de sterke vernetting geen smelten op; het materiaal zal bij voldoende temperatuurverhoging uiteindelijk verbranden.

In de volgende tabel worden van een aantal kunststoffen de glasovergangstemperatuur (T_g) en de smelttemperatuur (T_m) gegeven (indicatieve waarden).

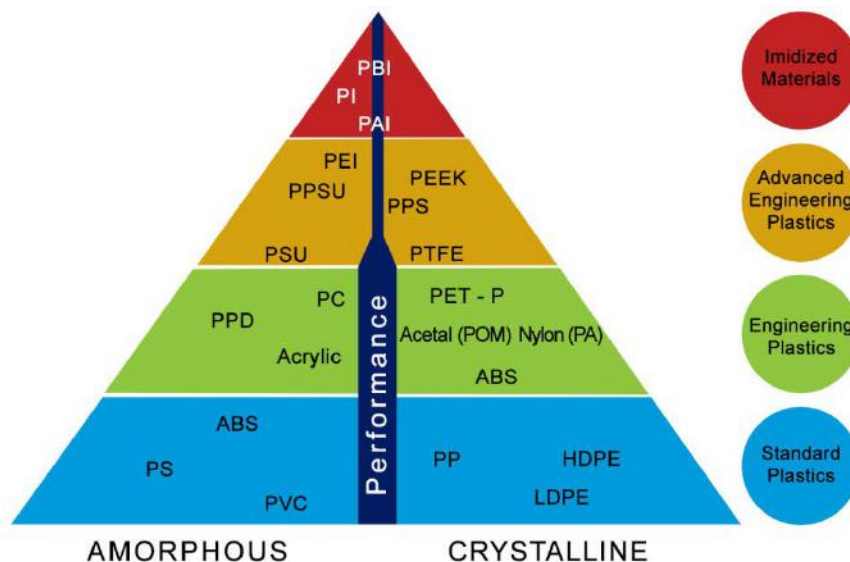
Kunststof	Afkorting	Type	T_g (°C)	T_m (°C)
Poly Etheen	PE	Thermoplast	120	120
Poly Propeen	PP	Thermoplast	0	150
Poly Vinyl Chloride	PVC	Thermoplast	80	140
Poly Chloropreen	CR (Neopreen)	Rubber	40	45 (*)
Epoxy	EP	Thermoharder	120	Smelt niet

Tabel 1: Tabel met basisinformatie van veelgebruikte kunststoffen. *Is niet meer te smelten na het zogenaamde vulkanisatie (vernetting) proces.

De materiaaleigenschappen van kunststoffen zijn duidelijk temperatuur afhankelijk. Het meten van de E-modulus van bijvoorbeeld PP bij kamertemperatuur zal een andere waarde opleveren dan bij veel hogere of lagere temperaturen.

Het volgende karakteristieke van thermoplastische kunststoffen is daaraan gelinkt: de verwerkingsmethode heeft effect op de materiaaleigenschappen. Afhankelijk van hoe bijvoorbeeld PE wordt verwerkt in de vloeibare toestand, kan het resultaat een hard materiaal zijn, of een flexibele garen. Het materiaal kan geschuimd worden tot een isolatiebuis, maar het is ook mogelijk om dit materiaal ultrakristallijn te maken door het te spinnen of zelfs amorf door het vanaf hogere temperatuur snel in te vriezen. Daarnaast zijn de mechanische eigenschappen van thermoplasten ook nog tijdsafhankelijk doordat kunststoffen kruip vertonen onder mechanische belasting.

Naast deze indeling op generieke materiaal eigenschappen, maakt de industrie binnen de thermoplasten nog onderscheid thermoplasten op prestatie: engineering plastics vs. standard plastics.



Figuur 4: Engineering plastics vs. standard plastics.

Als laatste noemenswaardig onderscheid in kunststoffen is door te kijken naar het gebruik van toevoegingen (additieven) en versterking (bewapening). Dit kan met alle bovengenoemde materialen, thermoharder of thermoplast, engineering plastic of bulk plastic, gedaan worden.

Dit laatste aspect haakt in op één van de voordelen die kunststoffen bieden: door slimme toevoegingen kunnen de basiseigenschappen van de materialen aangepast worden. Door het toevoegen van additieven kunnen bijvoorbeeld UV- bestendigheid of slijtagegevoeligheid worden verhoogd, of een lagere stijfheid en sterkte kan gecompenseerd worden door vezelversterking. Door vulmiddelen te gebruiken kan de dichtheid van kunststoffen verder worden aangepast of het materiaal geleidend gemaakt worden. En zijn legio mogelijkheden en daardoor zijn er ook veel grades op de markt te koop. Nylon is niet simpelweg nylon en PE is niet simpelweg PE.

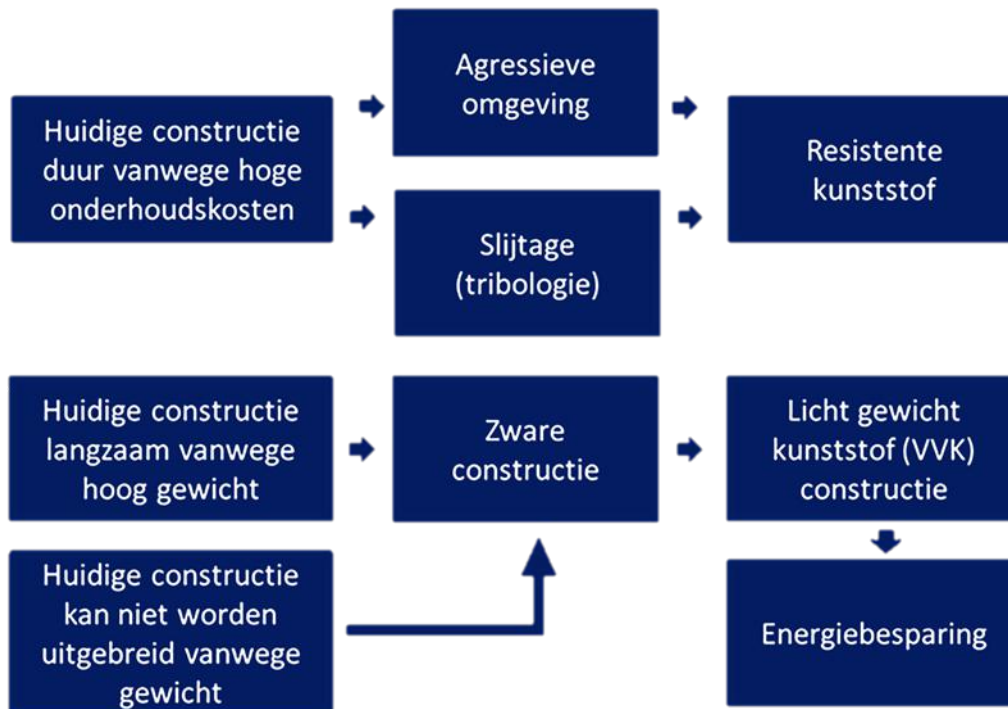
Samenvattend, de verschillen tussen kunststoffen en metalen lijken simpel op te noemen: kunststoffen hebben een lagere dichtheid, kunnen transparant zijn, geleiden geen stroom en zijn slechte geleiders van warmte. Ze zijn bestendig tegen chemicaliën (corrosiebestendig), maar de mechanische eigenschappen van zijn minder dan van metalen. Maar de enorme variëteit in verwerkingsmethoden, additieven, bewapening, vulmaterialen biedt een scala aan mogelijkheden en kansen voor het toepassen van kunststoffen op plekken waar iemand wellicht een metaal verwacht.

2.2 Vezelversterkte kunststoffen (VVK)

Een speciale groep kunststoffen zijn vezelversterkte kunststoffen: VVK's. Deze materialen worden vaak ook aangeduid met composieten. Door een sterke glas- of koolstofvezel aan de kunststof toe te voegen wordt een veel hogere sterkte en stijfheid mogelijk. Dit is zeer interessant wanneer naar constructieve toepassingen gekeken wordt. VVK's komen veel dichterbij de eigenschappen van metalen en daardoor zijn veelal minder grote aanpassingen aan het huidige concept nodig om de materialen toe te kunnen passen.

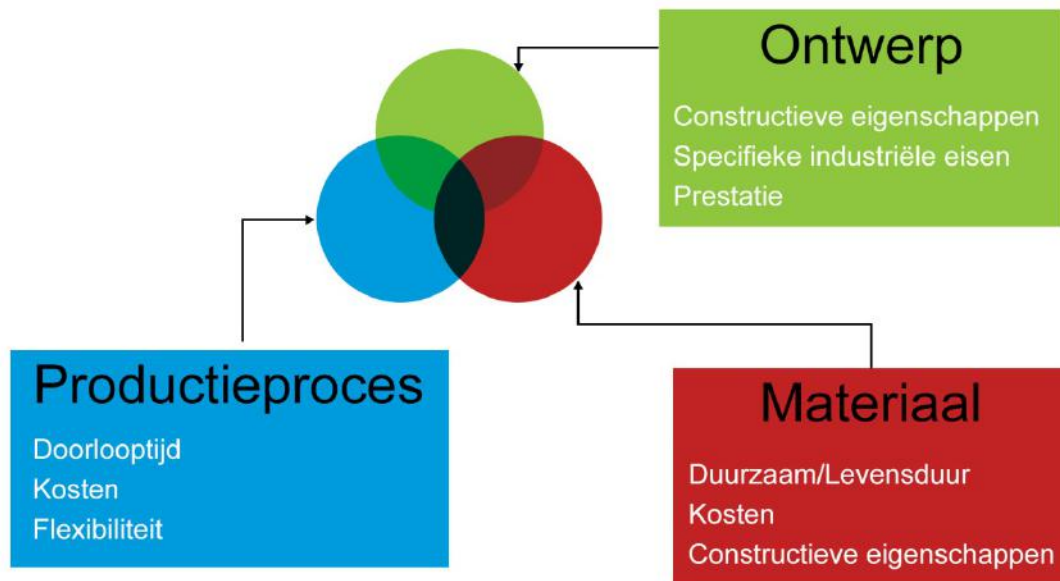
2.3 Toepassingen in de machinebouw

In onderstaand schema is te zien bij welke omstandigheden kunststoffen een voordeel kunnen leveren.



Figuur 5: Mogelijke situaties voor het toepassen van kunststoffen.

Zoals gezegd hebben kunststoffen (en VVK's) potentieel grote voordelen. Het is echter niet zo dat het 1-op-1 vervangen van het ene materiaal door het andere goede resultaten zal geven; in tegendeel dit leidt vaak tot zeer tegenvallende prestaties. Een goed productontwerp neemt de volgende drie facetten in beschouwing: Zoals weergegeven in figuur 6, is materiaalkeuze slechts één van de drie pijlers.



Figuur 6: Ontwerpdriehoek.

Het materiaal heeft invloed op de duurzaamheid en levensduur, gewicht en algemene structurele performance. Het productieproces is ook van belang, niet alle producten kunnen in elk proces gefabriceerd worden. Daarnaast is het van belang een productieproces te kiezen dat bij de benodigde mechanische eigenschappen en seriegrootte past. Het ontwerp zorgt ervoor dat het product aan alle gestelde eisen voldoet.

De ontwerpdriehoek geeft meteen ook aan waarom een goed productontwerp tamelijk complex is: de opties zijn talrijk. Ten eerste is er een bijna oneindig aantal materialen waaruit gekozen kan worden, waarbij soms verschillen niet op het eerste gezicht duidelijk zijn. Daarnaast is er ook voor elke groep een veelheid aan productietechnieken, wat ervoor zorgt dat een optimaal ontwerp vaak ook betekent goed te kijken wat realistisch is voor de partij die het gaat toepassen.

De steeds bredere materiaalkeuze zorgt er ook voor dat machinebouwers meer en meer op component niveau kunnen gaan kijken wat het meest geschikte materiaal is. Dit is dus niet per se altijd staal, maar kan ook VVK of een opgevulde kunststof zijn. Hierdoor wordt het steeds interessanter om te kijken naar hybride construeren. Dit brengt echter wel uitdagingen met zich mee op het gebied van verschillende stijfheden van de materialen.

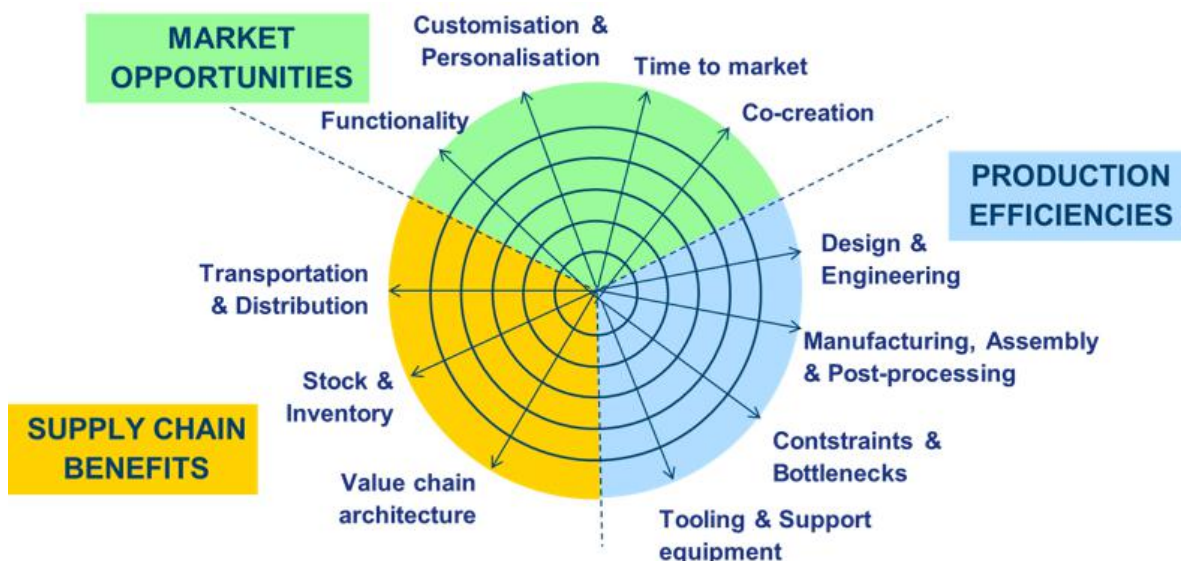
2.4 Toepassingen voor 3D printing in de machinebouw

De mogelijkheden van 3D printen heeft potentie als alternatief productieproces voor de machinebouw. Het 3D printen wordt in deze bedrijfstak op dit moment voornamelijk ingezet voor prototyping. Maar 3D printen heeft nog meer onderscheidende eigenschappen die interessant kunnen zijn voor deze bedrijfstak zoals hieronder beschreven.

Voordelen/onderscheidende eigenschappen 3D printen:

1. Zeer grote vormgevingsvrijheid ('bijna alles is te maken')
Gekromde gaten en kanalen in onderdelen (voor bijv. koeling/smering)
2. Maatwerk onderdelen
'Reverse engineering', Spare parts
3. Potentieel voor lagere productiekosten (eliminatie tooling/stappen)
4. Verkorting time-to-market (minder bewerkingstappen)
5. Massareductie & stijfheidsoptimalisatie
Materiaal alleen daar aanbrengen waar noodzakelijk
(Topologie-optimalisatie, Generative design)
6. Duurzaamheid (minder afval dan bijvoorbeeld bij verspanen)
7. Integratie van functies (kan leiden tot nieuwe constructieprincipes)
Elastische scharnieren / manipulatie / intelligente structuren elementen
8. Specifieke materiaaleigenschappen

Veel bedrijven overwegen te investeren in 3D printen, maar hebben moeite de voordelen ervan te kwantificeren. Want hoe breng je verbeterde functionaliteiten van onderdelen, versneld productontwerp, betere gereedschappen, snellere marktintroductie en een kleiner magazijn onder één noemer? Om die vraag te beantwoorden, heeft bijvoorbeeld Berenschot de Quick Scan 3D Printing ontwikkeld. De Quick Scan 3D Printing helpt te focussen en kwantificeert de economische impact van het 3D printen, zie figuur 7.



Figuur 7: Quick Scan 3D Printing (Bron: Berenschot).

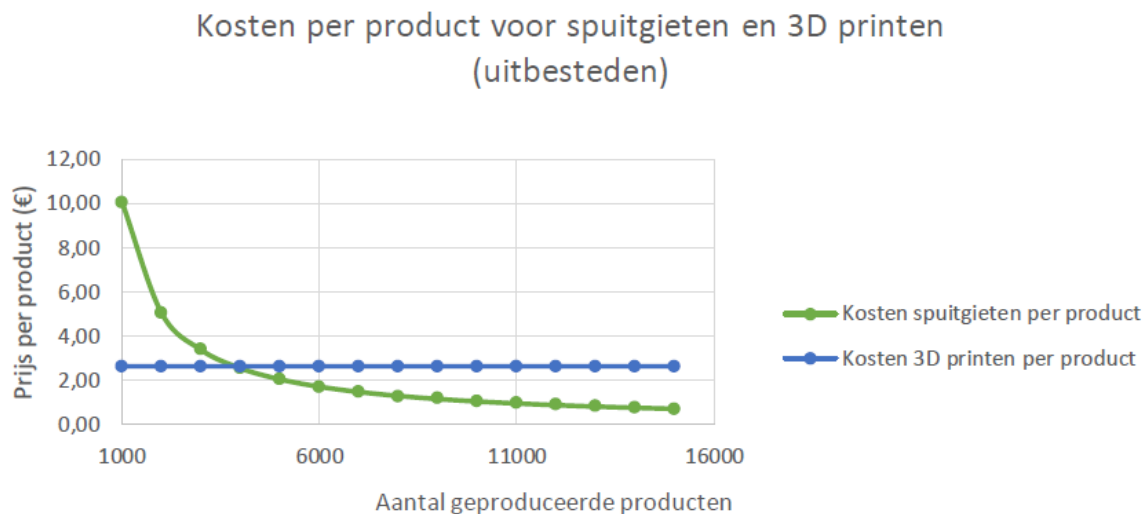
Kunststof in de machinebouw II heeft de focus voornamelijk op de technische aspecten van het 3D printen gelegd. Betrouwbaarheid en voorspelbaarheid spelen een grote rol bij de machinebouw. Voordat het 3D

printen als (volwaardig) alternatief gezien wordt, wil de machinebouwer weten wat de (mechanische-) eigenschappen zijn op langere termijn.

In de cases van MOBA, Flamco en eigen onderzoek hebben wij dit onderzocht. Met name de verschillen in levensduur is onderzocht tussen gespuitsgiete onderdelen en 3D geprinte onderdelen. Verder hebben wij voor de case van Flamco een kostprijsberekening van een onderdeel in een vuilafscheider gemaakt voor het 3D printen. Hieruit blijkt dat tot een seriegrootte van 4000 stuks 3D printen in dit geval interessant kan zijn.

Kostprijsberekening

Omdat er bij 3D printen alleen met de materiaalkosten is gerekend is er een horizontale lijn te zien in de grafiek. De kromme van het spuitgieten ontstaat doordat er een grote investering in de matrijs moet worden gemaakt voordat er geproduceerd kan worden. Doordat de materiaalkosten van het spuitgieten aanzienlijk lager liggen dan de materiaalkosten van 3D printen, wordt het spuitgieten na mate er meer wordt geproduceerd goedkoper. In de grafiek is goed zien dat er een omslagpunt ligt bij een seriegrootte van ongeveer 4000. Let wel op dat deze gegevens slechts een indicatie zijn van de werkelijkheid.



Grafiek 1: Vergelijking tussen kostprijs bij vervaardiging via spuitgieten vs. 3D printen.

Over het huidige productieproces zijn de volgende gegevens bekend:

- Prijs kerndeel circa €3,20
- Materiaalkosten €5,10/kg
- Matrijskosten ± €10.000,-
- Time to market met een matrijs is dit minimaal 6 maanden, productie matrijs, proefspuiten, afstemmen monsters etc.

2.5. De cases

In de komende hoofdstukken worden vier cases van de projectpartners en onze eigen cases in willekeurige volgorde kort beschreven. Volledige rapporten van de cases zijn op verzoek verkrijgbaar.

Voor de uitvoering van het project voor DGS zijn zeer nauwe projectgrenzen gesteld aan het begin, waardoor een functioneel herontwerp niet goed mogelijk bleek. Dit geeft eens te meer aangegeven hoe belangrijk het is om bij een herontwerp het volledige systeem te beschouwen en integraal te kijken hoe tot de beste oplossing gekomen kan worden. Het project is om deze reden niet opgenomen in dit boek.

3. Flamco – Kerndeel vuilafscheider voor CV-systemen

Onderzoek naar geschiktheid van 3D printen in plaats van spuitgieten, rekening houdend met bedrijfsomstandigheden en levensduur



Partner:



Flamco

Bedrijfstak:

Heating, ventilation & air conditioning

Locatie:

Bunschoten

Betrokken bij project:

Julian Woerting, Hermen Anbergen, Bert-Jan Roeterdink en Paul Dijkstra

Flamco is onderdeel van Aalberts Industries en richt zich op de ontwikkeling, productie en verkoop van kwaliteitscomponenten voor HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) toepassingen. Eén van de producten die Flamco heeft ontwikkeld is de Flamcovent Smart (Figuur 1 en 2), een apparaat dat voor ontluchting en vuilafscheiding in CV systemen zorgt.



Figuur 1: Foto van 'FlamcoVent Smart' ontluchter



Figuur 2: Doorsnede van ontluchter met werkingsprincipe van kerndeel



Figuur 3: Foto kerndeel van ontluchter

In deze ontluchter zit een uit glasgevuld PA66 gespuitsgiet kerndeel, (Figuur 3). De ontluchters worden geproduceerd in verschillende afmetingen voor verschillende debieten. De productieaantallen verschillen van formaat tot formaat van 500 tot meer dan 10.000 stuks op jaarbasis. Bij lage productieaantallen tot 3000 stuks kan het financieel aantrekkelijk zijn om over te gaan op 3D-printen als productietechniek in plaats van spuitgieten.

Uit een voorgaand afstudeeronderzoek [1] bleek SLS geprint PA12 geschikt ten aanzien van nauwkeurigheid, mechanische eigenschappen en vochtopname, en het meest geschikt van alle geteste materialen en printtechnieken. Gezien het kerndeel als deel van het CV-systeem langdurig in contact staat met water bij hoge temperaturen van 90°C is het belangrijk dat SLS geprint PA12 op lange duur tegen deze omstandigheden bestand is. De levensduur van het materiaal was echter niet bestudeerd. Het doel van het onderzoek is dan ook te bestuderen of SLS geprint PA12 voor deze toepassing geschikt zou kunnen zijn.

Vooronderzoek

Op basis van algemene kennis en uit literatuur over Polyamides en SLS printen blijken de volgende relevante punten voor de Flamco casus:

- Polyamides staan bekend om wateropname, wat het materiaal verweekt. Dit verhoogt de taaheid, verlaagt de glastransitie temperatuur (T_g) en de stijfheid. Voor gunstige mechanische eigenschappen is enige vochtopname na productie noodzakelijk. Types met een langere reeks carbon (H-C-H) in de backbone (zoals PA12) nemen weinig vocht in verhouding tot varianten met kortere carbon secties in de backbone (bv. PA6) [2];
- Bij extrusie of spuitgieten worden Polyamides verwerkt met een laag en consistent vochtgehalte. Sommige bronnen rapporteren dat teveel opgenomen water tijdens verwerking degradatie kan veroorzaken [3]. Hoewel de temperaturen bij verwerking vele malen hoger zijn dan de toepassing die Flamco beoogd, is de termijn van blootstelling (bij de beoogde levensduur) vele malen langer. Op basis hiervan is het optreden van degradatie is dan ook niet ondenkbaar.
- Bij een blootstelling van SLS-geprint PA12 aan koelvloeistof tot 4 weken wordt een daling in treksterkte en E-modulus gemeten voor de proefstukken in contact met koelvloeistof ten opzichte van 'droge' proefstukken [4].
- Onderdompeling van SLS-geprint PA12 in water bij kamertemperatuur tot één jaar veroorzaakt een daling in E-modulus en treksterkte en een stijging in de rek bij breuk ten opzichte van droge proefstukken. De effecten worden toegeschreven aan het verwekend effect van opgenomen water [5].
- De mechanische eigenschappen van SLS-geprint PA12 van geconditioneerde proefstukken is getest over een periode van één jaar bij verschillende temperaturen tussen -40°C tot 140°C . Voor alle temperaturen werd bestudeerd dat de proefstukken gedurende de tijd, vooral in de eerste weken, een hogere treksterkte, E-modulus én rek bij breuk kregen. Een (potentiële) oorzaak hiervoor is niet gevonden [5].

Uit vooronderzoek blijkt bovenal dat het effect op de mechanische eigenschappen van de combinatie verhoogde temperatuur en contact met vocht voor SLS-geprint PA12 nog niet is onderzocht. Hiervoor zijn dus proeven nodig.

Methoden & materialen

Er is gekozen een vergelijking te maken tussen de mechanische eigenschappen van gespuitsgiet PA12 en SLS geprint PA 12 van dezelfde grade (PA2200 van EOS), zodat effecten van materiaal en productietechniek van elkaar te onderscheiden zijn. In Tabel 1 staan de mechanische eigenschappen welke zijn getest.

Materiaaleigenschap	Type proef	Type proefstuk	Notities
Max. treksterkte (MPa)	Trekproef	ISO 527-1/1A	Testsnelheid 50 mm/min
Rek bij breuk (%)	Trekproef	ISO 527-1/1A	Testsnelheid 50 mm/min
Elasticiteitsmodulus (MPa)	Trekproef	ISO 527-1/1A	Testsnelheid 1 mm/min
Charpy impactsterkte (kJ/m^2)	Kerfslagproef	ISO 179-1/1eA*	2J hamer
Dichtheid (g/cm^3)	Massa- & volumebepaling trekstaven		

Tabel 1: Overzicht van beproefde mechanische eigenschappen. De proefstukken voor de kerfslagproeven zijn conform de afmetingen uit de benoemde norm, maar zijn niet geproduceerd in een daartoe bestemde matrijs. In plaats daarvan zijn trekstaven geproduceerd, waaruit het middelste gedeelte is geknipt om te gebruiken als kerfslagstaaf.

Voor de bedrijfsomstandigheden is er gekozen om te testen bij drie temperaturen: 23°C, 60°C en 90°C. Voor luchtvochtigheid is gekozen 50%rH en onderdompeling in water met elkaar te vergelijken. Met deze parameters zijn verschillende combinaties met omstandigheden gemaakt, weergegeven in Tabel 2. De combinaties zijn zo gemaakt dat de effecten van temperatuur en vocht zowel op zichzelf als gecombineerd zijn getest. Er zijn proefstukken getest na 1, 3, 5, 7, 14, 21 en 28 dagen blootstelling.

Batch	Naam	Productiemethode	Temperatuur (°C)	Vochtblootstelling
1	A1	SLS-Print	23	50% rH
1	B1	SLS-Print	23	Onderdompeling in water
1	C1	SLS-Print	90	In lucht*
1	D1	SLS-Print	90	Onderdompeling in water
2	E2	SLS-Print	23	50% rH
2	F2	SLS-Print	60	In lucht*
2	G2	SLS-Print	60	Onderdompeling in water
3	H3	Gespuitsgiet	60	In lucht*
3	I3	Gespuitsgiet	60	Onderdompeling in water

Tabel 2: Overzicht van de verschillende reeksen proeven en omstandigheden van bewaring. *De proefstukken 'in lucht' zijn in een oven bewaard, zonder actieve regulering van luchtvochtigheid. De proefstukken met een vochtblootstelling van 50%rH zijn bewaard in een klimaatkast met actieve regulering van luchtvochtigheid.

Voor het printen is een EOS Formiga P100 machine gebruikt; de proefstukken zijn geprint in twee batches (printjobs). Het spuitgieten vond plaats op een Engel Victory 50. Omdat het materiaal zich in poedervorm niet liet zich voortstuwten door de schroef van de spuitgietmachine is het geprint tot granulaat (Figuur 4) zodat deze verwerkbaar was met de beschikbare spuitgietmachine.



Figuur 4: SLS-geprint granulaat tijdens het uitpakken uit de printer.

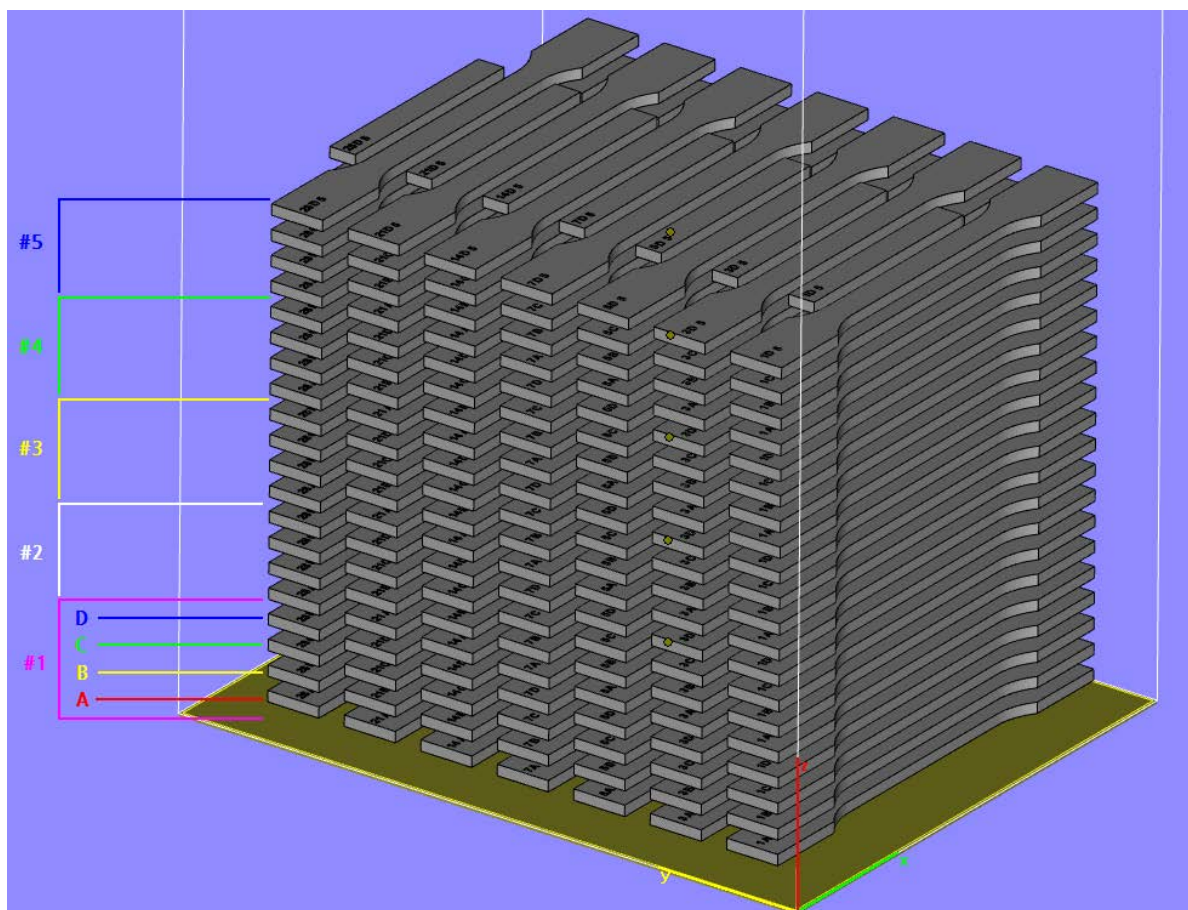
Het gespuitsgiete materiaal is door het printen onderhevig geweest aan extra thermische cyclus. Dit gebeurt in inerte omgeving (de printruimte is gevuld met stikstof). Hierdoor wordt oxidatie/degradatie voorkomen, maar in geval van de gebruikte grade PA12 stijgen onder deze omstandigheden vervolgens het molgewicht en smeltviscositeit [6]. Een achterliggende theorie hiervoor is dat de eindgroepen van de ketens niet

getermineerd zijn. Hierdoor zouden deze eindgroepen nog reactief zijn, wat de mogelijkheid zou bieden onder de juiste omstandigheden een post-condensatie reactie te laten optreden [7]. Het optreden van dergelijke processen bij productie van het geprinte granulaat en hun eventuele invloed op de mechanische eigenschappen zijn niet nader onderzocht. In Tabel 3 staat een overzicht met instellingen van de spuitgiet- en printprocessen.

Instellingen SLS-printer		Instellingen Spuitgietmachine	
Process chamber	171 °C	Temperatuur plasticating unit	200 °C
Removal chamber	149 °C	Temperatuur koelwater matrijs	60 °C
Energiedichtheid laser	0,336 J/mm ³	Injectietijd	2 s
Laagdikte	0,1 mm	Nadruk	420 bar
		Nadruktijd	15 s
		Totale cyclustijd	55 s

Tabel 3: Instellingen van de spuitgiet- en printprocessen voor productie van de proefstukken. Alle batches zijn met dezelfde printinstellingen geproduceerd. Het geprinte granulaat is binnen 4 uur na uitpakken uit de printer (=droog) verwerkt. Tot verwerking is het granulaat in een droger bewaard bij 80°C.

De geprinte proefstukken zijn in de X-richting georiënteerd. De proefstukken zijn genummerd en verdeeld zodat de locatie in het bouwvolume zo min mogelijk invloed heeft in de resultaten, zie Figuur 5. Per testreeks (aantal dagen blootstelling) zijn vijf proefstukken per omstandigheid in willekeurige volgorde getest. De proefstukken zijn voor de proeven afgekoeld naar kamertemperatuur; natte samples zijn kort voor het uitvoeren van de proef droog gedept.



Figuur 5: Indeling van proefstukken in printjob.

Resultaten & Discussie

Voordat de resultaten zijn geanalyseerd is een vergelijking gemaakt tussen de proefstukken geconditioneerd bij 23°C, 50%rH (voor 5 dagen) en de datasheet van EOS PA2200 (Bijlage A). De resultaten komen goed overeen, zoals te zien in Tabel 4. De dichtheid, te zien in Tabel 5, zijn. De resultaten van de proeven zijn daarom als representatief verondersteld voor het materiaal en printproces.

PA2200 Mechanical properties	Datasheet	Series A1 (Batch 1)		Series A2 (Batch 2)	
(All properties in X-direction)	Average	Average	SD	Average	SD
Tensile strength (MPa)	50	49,93	0,77	<u>51,28</u>	0,37
Strain at break (%)	20	<u>18,51</u>	1,09	21,78	2,81
Young's Modulus (MPa)	1700	1712	43	<u>1743</u>	18
Impact strength, Charpy notch A (kJ/m ²)	4,8	5,08	0,45	4,61	0,28

Tabel 4: Vergelijking eigenschappen tussen datasheet en twee batches gebruikt in dit onderzoek. Beide reeksen uit het onderzoek zijn na printen 5 dagen geconditioneerd bij 23°C, 50%rH. Resultaten uit het onderzoek met een afwijking groter dan de standaarddeviatie zijn onderstreept. Het is onbekend of de proefstukken van EOS en dit onderzoek zijn geproduceerd met dezelfde machine-instellingen.

PA2200 Density (g/cm ³)	Injection moulded		SLS Printed	
	Measured	Target	Measured	Target
	1,009	1,01	0,986	≥ 0,93

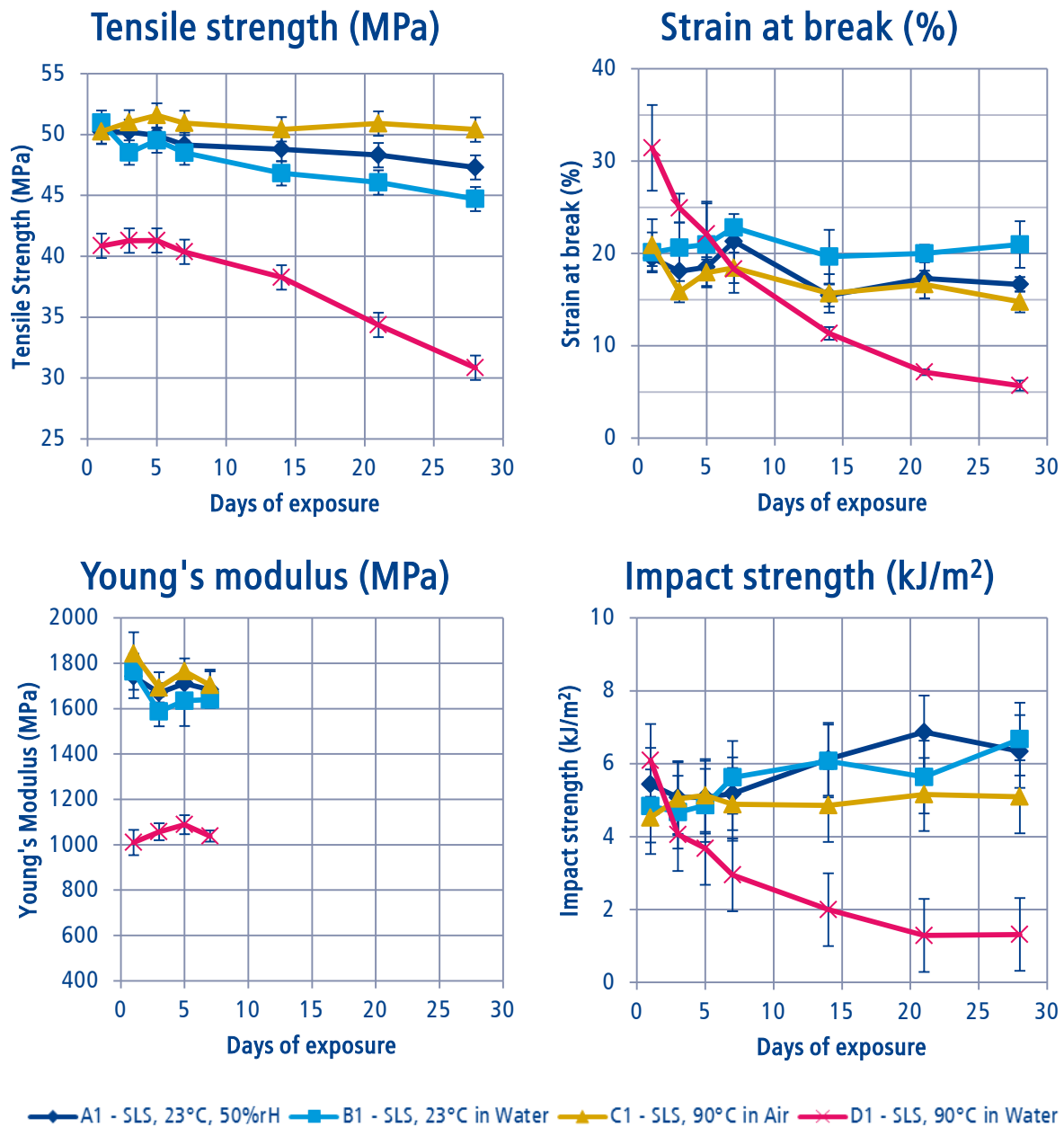
Tabel 5: Dichtheid van gespuitsgiete en SLS-geprinte proefstukken na 1 dag conditioneren onder water bij 60°C.

In het volgende segment worden enkel de resultaten behandeld welke bijdragen aan het beantwoorden van de kennisvraag voor Flamco. De volledige collectie testresultaten is te vinden in Bijlage B. In alle grafieken (zowel deze sectie als in de bijlage) zijn de gemiddelde waarden weergegeven met een spreiding van standaarddeviatie als boven- en ondergrens.

Als eerst zijn de resultaten vergeleken tussen combinaties van proefstukken bewaard bij 23°C versus 90°C en proefstukken in lucht versus in water (Reeksen A1, B1, C1 en D1). In tabel 6 is een beknopt overzicht gegeven van de eigenschappen (gemiddelde van vijf proefstukken) na 28 dagen van proefstukken bewaard in water bij 90°C ten opzichte van proefstukken bewaard bij kamertemperatuur en 50%rH. In Figuur 6 staan de grafieken met het verloop over de volledige 28 dagen.

Vergelijking mechanische eigenschappen van verschillende voorbehandelingen na 28 dagen			
	23°C/50%RH	90°C/100%RH	Δ (%)
Kerfslagsterkte (kJ/m ²)	6,34	1,32	-79
Treksterkte (MPa)	47,29	30,84	-35
Rek bij breuk (%)	16,66	5,68	-66

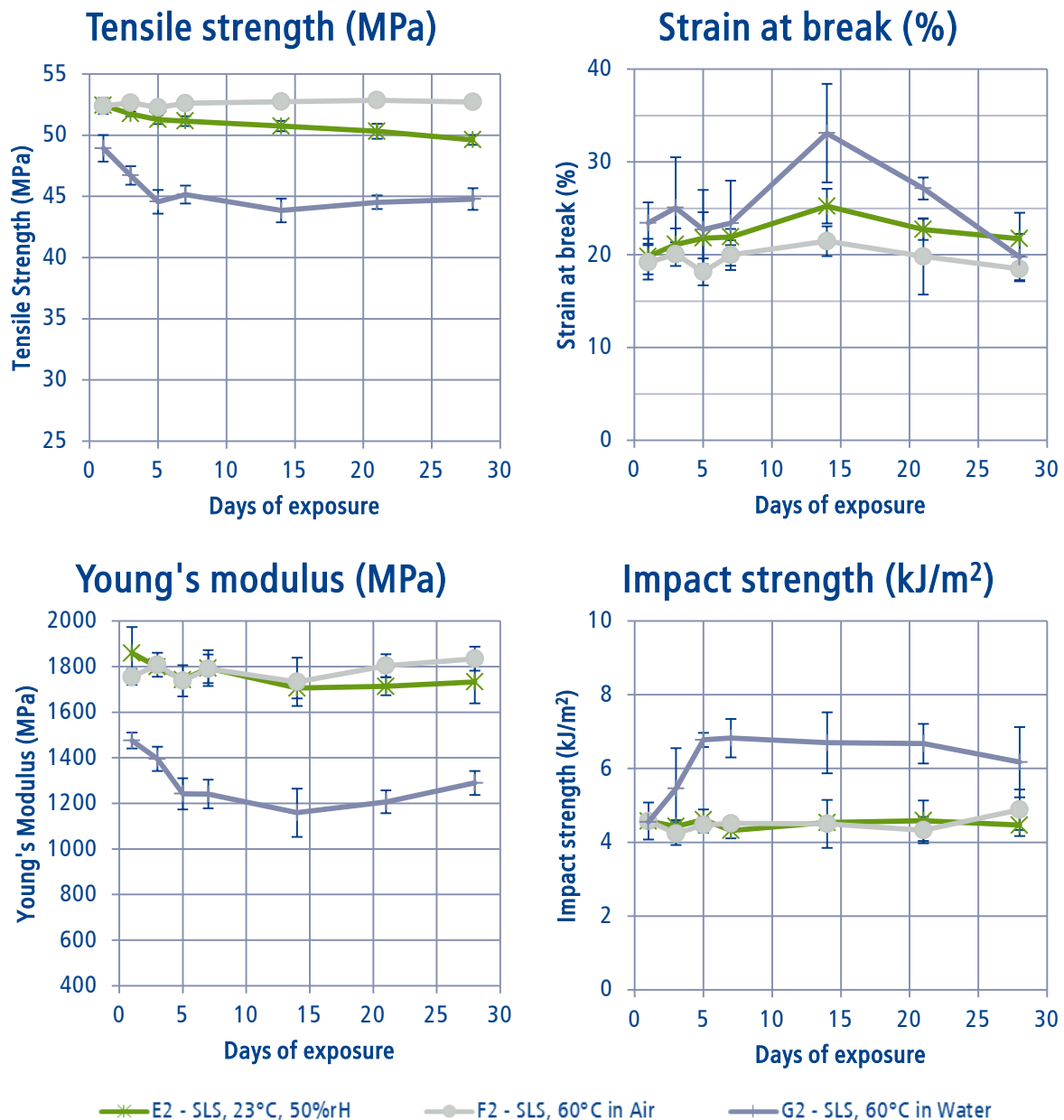
Tabel 6: Vergelijking van mechanische eigenschappen na 28 dagen tussen de voorbehandeling op kamertemperatuur versus onderdompeling in water bij 90°C In de rechter kolom is het percentage daling neergezet van de proefstukken bewaard onder water bij 90°C ten opzichte van de bij kamertemperatuur geconditioneerde proefstukken.



Figuur 6: Mechanische eigenschappen van SLS-geprinte PA12 proefstukken met verschillende omstandigheden van bewaring vóór het uitvoeren van de proef, waarbij de invloed van contact met water versus lucht en 23°C versus 90°C worden vergeleken. Vanaf 14 dagen is de modulus van batch 1 niet gemeten door complicaties met de extensometer-module voor lage rekken (modulus-metingen).

Ten opzichte van blootstelling aan kamertemperatuur bij 50%rH (A1) zijn voor de proefstukken welke zijn blootgesteld aan 90°C in water (D1) treden bij zowel treksterkte, rek bij breuk als kerfslagsterkte duidelijke dalingen van eigenschappen op. Voor de hoge temperatuur in lucht (C1) en contact met vocht bij kamertemperatuur (B1) treden slechts kleine veranderingen op. Hoewel de dalingen mogelijk te verklaren zijn door vochtopname, geldt dit niet voor de daling van de rek bij breuk en kerfslagsterkte. Het verloop van kerfslagsterkte en rek bij breuk van reeks D1 zijn indicatief voor degradatie van de kunststof, wat wordt ondersteund door observaties van bros(er) breukgedrag zonder insnoering na langere blootstelling.

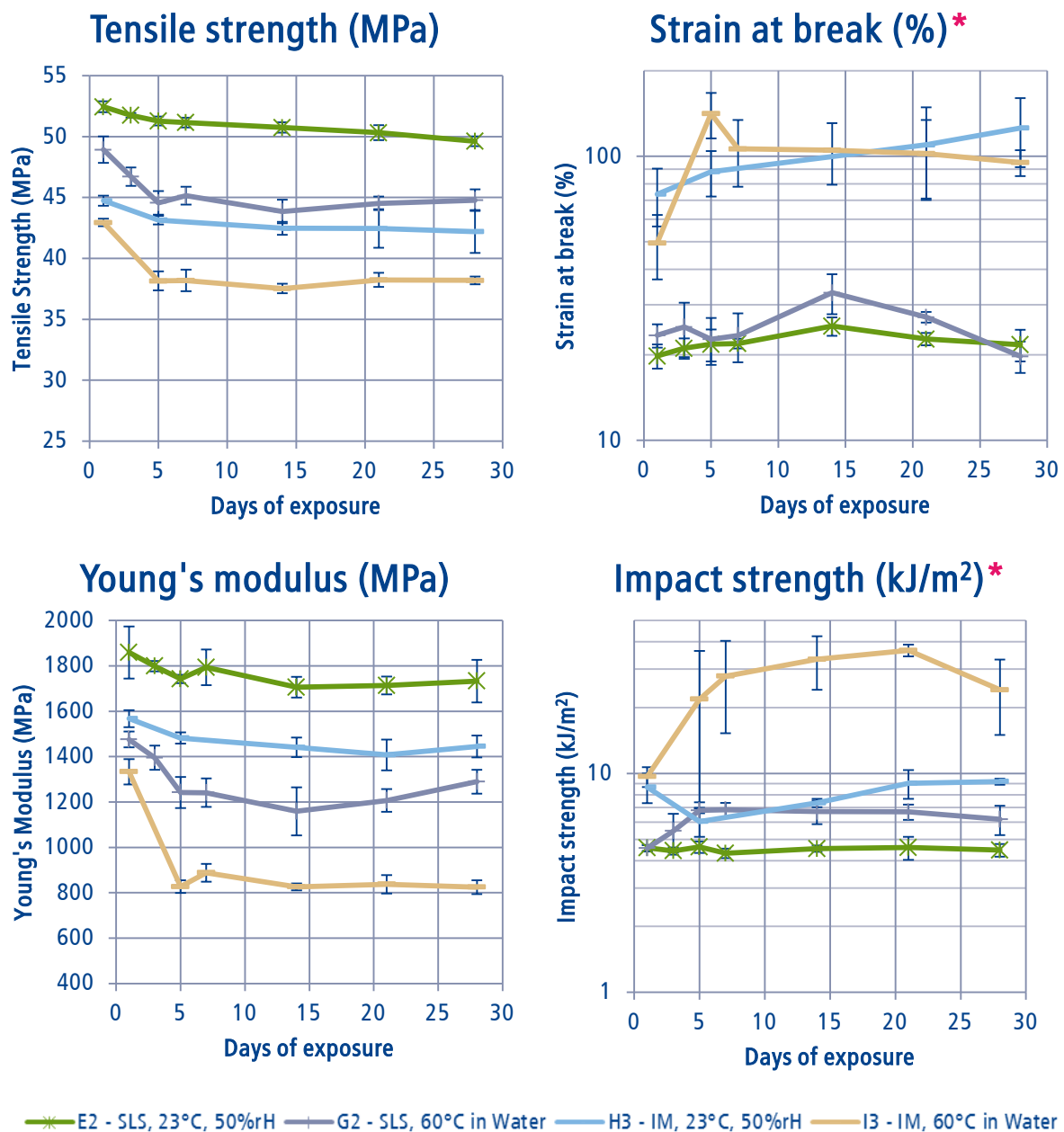
Vervolgens zijn proeven bij 60°C in de tweede batch (Figuur 7) geanalyseerd.



Figuur 7: Mechanische eigenschappen van SLS-geprinte PA12 proefstukken met verschillende omstandigheden van bewaring vóór het uitvoeren van de proef, waarbij de invloed van contact met water versus lucht en 23°C versus 60°C worden vergeleken.

Uit deze resultaten blijkt dat onderdompeling in water bij 60°C een andere invloed heeft op het materiaal dan bij 90°C. De treksterkte, Young's modulus en kerfslagsterkte veranderen in de eerste dagen, waarna ze lijken te stabiliseren. Mogelijk zijn dit effecten door vocht opname (en saturatie van de proefstukken). Door de spreiding valt met zekerheid niet iets dergelijks te zeggen over de rek bij breuk. Wel lijkt deze een daling in te zetten na 14 dagen. Het is niet op te maken uit de resultaten of de eigenschappen 60°C en 90°C eenzelfde patroon zouden volgen als over een grotere tijdschaal zou zijn getest (De eerste uren van proefstukken bij 90°C of voorbij 28 dagen bij 60°C).

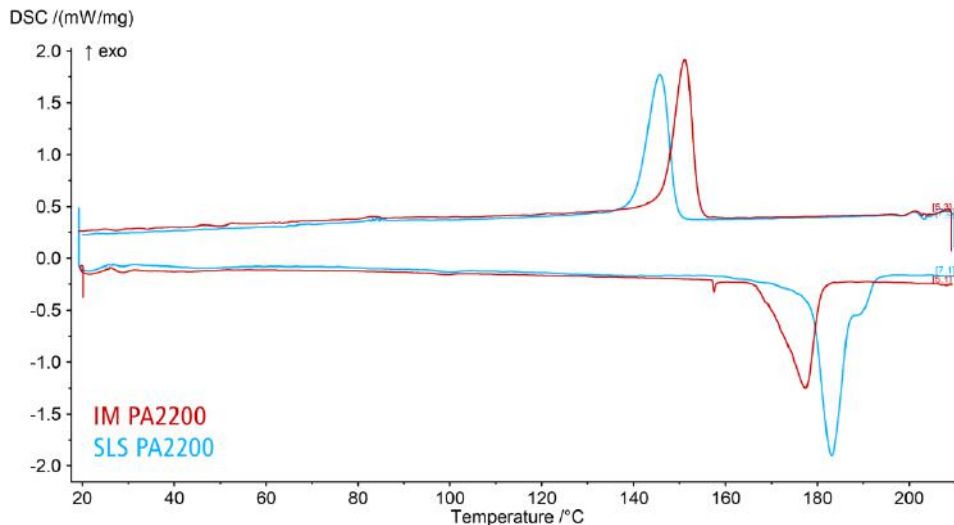
Tot slot is de data geanalyseerd van de mechanische eigenschappen van de gespuitsgiete versus geprinte proefstukken (Figuur 8).



Figuur 8: Mechanische eigenschappen van SLS-geprinte en gespuitsgiete PA12 proefstukken met verschillende omstandigheden van bewaring vóór het uitvoeren van de proef, waarbij de verschillen tussen de twee productiemethoden wordt vergeleken. *Let op: De rek bij breuk en kerfslagsterkte hebben een verticale as met logaritmische schaal.

Als eerst valt op dat de begineigenschappen van gespuitsgiete en geprinte proefstukken anders is: De geprinte proefstukken hebben een hogere stijfheid en treksterkte, de gespuitsgiete proefstukken hebben een hogere rek bij breuk en kerfslagsterkte. Onderliggende verschillen van de begineigenschappen zijn ten gevolge van het productieproces. Hierbij spelen mogelijk oppervlak (glad vs. ruw), structuur (massief vs. poreus) en ketenoriëntatie een rol voor het gedrag bij grotere (nominale) rekken en slagvastheid. Door de verschillende afkoelsnelheden is de kristalliniteit van het gespuitsgiete materiaal lager (Figuur 9), wat de lagere sterkte en E-modulus zou kunnen verklaren.

Ondanks deze onderliggende verschillen is echter te zien dat beide materialen soortgelijk reageren op de omstandigheden waaraan ze worden blootgesteld. Vooral de invloed op treksterkte en Young's modulus kennen sterke overeenkomsten. De kerfslagsterkte en rek bij breuk hebben een matige overeenkomstigheid, mogelijk omdat de opbouw en structuur van de proefstukken een grotere rol speelt voor slagvastheid en grotere rekken.



Figuur 9: DSC opwarm- en afkoelcurves (10°C/min) van gespuitsiet en SLS-geprint PA2200. De onderste set curves is de opwarmcurve, de bovenste set curves de afkoelcurve. De piek in de opwarmcurve is voor het SLS-geprinte materiaal is duidelijk groter. De kristalliniteit voor het geprinte materiaal is berekend op 31%, het gespuitsiete materiaal op 19%. Dit biedt een potentiële verklaring voor de hogere sterkte en stijfheid van het geprinte materiaal.

Conclusie & Aanbevelingen

Op basis van de uitgevoerde proeven is duidelijk dat SLS-geprint PA12 in contact met water van 90°C een sterke afname van mechanische eigenschappen vertoont in een tijdbestek van 28 dagen. Dit maakt het materiaal ongeschikt voor de toepassing die Flamco beoogd.

De combinatie van hoge temperatuur en contact met water is hiervan de oorzaak. De resultaten geven indicatie dat de resultaten bij een lagere temperatuur beter zijn op een termijn van 28 dagen; of op een langere termijn de resultaten ook beter zijn is niet bekend geworden in dit onderzoek.

Tot slot is – door vergelijking met gespuitsiet PA12 van dezelfde grade – aannemelijk gemaakt dat het gebruikte materiaal niet geschikt is voor de toepassing. Dit zou betekenen dat de techniek SLS-printen mogelijk wel degelijk geschikt is voor de toepassing die Flamco beoogd indien een ander materiaal gebruikt zou worden.

De aanbeveling naar Flamco is dan ook om andere commercieel beschikbare materialen voor SLS-printen te overwegen die mogelijk wél bestand zijn tegen langdurige blootstelling aan een hoge temperatuur en contact met water. Potentieel geschikte kandidaten zijn PEEK, PEK en Polyamide-grades met een hoge thermische stabiliteit (ook wel bekend als 'high recyclability' of 'low refresh-rate' grades). Gezien materiaalontwikkeling voor SLS-printen aan het toenemen is zou het ook interessant kunnen zijn partijen te zoeken welke een mogelijk een geschikt materiaal zouden kunnen ontwikkelen of reeds aan het ontwikkelen zijn.

Bronnen

- [1] Heshusius, Mark (2016). "Onderzoek additive manufacturing".
- [2] Howe, B. (2010). "Dry vs Conditioned Polyamide Nylon Explained." Geraadpleegd op 31-5-2017, van: <https://knowledge.ulprospector.com/1489/pe-dry-vs-conditioned-polyamide-nylon/>
- [3] Bozelli, J. (2017). "Analyze Moisture Before Processing." Geraadpleegd via: <https://www.ptonline.com/columns/analyze-moisture-before-processing>
- [4] Schmid M., Wollecke F. and Levy, G.N. (2012), "Long-term durability of SLS polymer components under automotive application environment".
- [5] Goodridge R.D., Hague R.J.M., Tuck C.J. (2010), "Effect of long-term ageing on the tensile properties of a polyamide 12 laser sintering material". Elsevier
- [6] Haworth, B.,Hopkinson, N., Hitt, D., Zhong, X. T. (2013), "Shear viscosity measurements on Polyamide-12 polymers for laser sintering." Rapid Prototyping Journal, Volume 19, Issue 1, Pages 28-36.
- [7] Schmid, M., Kleijnen, R., Vetterli, M., Wegener, K. (2017) "Influence of the Origin of Polyamide 12 Powder on the Laser Sintering Process and Laser Sintered Parts." Applied Sciences Journal (MDPI, Basel), Special Issue "Special Issue "Materials for 3D Printing."

Bijlage A – Material Datasheet EOS PA2200



PA 2200 Performance 1.0

PA12

EOS GmbH - Electro Optical Systems

Product Texts

Product Texts

This whitish fine powder PA 2200 on the basis of polyamide 12 serves with its very well-balanced property profile a wide variety of applications. Laser-sintered parts made from PA 2200 possess excellent material properties:

- high strength and stiffness
- good chemical resistance
- excellent long-term constant behaviour
- high selectivity and detail resolution
- various finishing possibilities (e.g. metallisation, stove enamelling, vibratory grinding, tub colouring, bonding, powder coating, flocking)
- bio compatible according to EN ISO 10993-1 and USP/level VI/121 °C
- approved for food contact in compliance with the EU Plastics Directive 2002/72/EC (exception: high alcoholic foodstuff)

Typical applications of the material are fully functional plastic parts of highest quality. Due to the excellent mechanical properties the material is often used to substitute typical injection moulding plastics. The biocompatibility allows its use e.g. for prostheses, the high abrasion resistance allows e.g. the realisation of movable part connections.

100 µm layer thickness

Performance is the parameter set of choice for parts with high demands on mechanical properties and fracture behaviour, especially when the part is going to be subjected to multiaxial loading in all three directions. Performance parts are characterized by the highest degree of isotropic strength and rigidity. The choice of 100 µm layer thickness results in fine resolution and also very high surface quality and detail resolution.

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Izod Impact notched (23°C)	4.4	kJ/m ²	ISO 180/1A
Shore D hardness (15s)	75	-	ISO 7619-1

3D Data	Value	Unit	Test Standard
The properties of parts manufactured using additive manufacturing technology (e.g. laser sintering, stereolithography, Fused Deposition Modelling, 3D printing) are, due to their layer-by-layer production, to some extent direction dependent. This has to be considered when designing the part and defining the build orientation.			
Tensile Modulus			ISO 527-1/-2
X Direction	1700	MPa	
Y Direction	1700	MPa	
Z Direction	1700	MPa	
Tensile Strength			ISO 527-1/-2
X Direction	50	MPa	
Y Direction	50	MPa	
Z Direction	50	MPa	
Strain at break			ISO 527-1/-2
X Direction	20	%	
Y Direction	20	%	
Z Direction	10	%	
Charpy impact strength (+23°C, X Direction)	53	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C, X Direction)	4.8	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Flexural Modulus (23°C, X Direction)	1500	MPa	ISO 178

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (20°C/min)	176	°C	ISO 11357-1/-3
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	163	°C	ISO 306

Other properties	Value	Unit	Test Standard
Density (laser-sintered)	930	kg/m ³	EOS Method
Powder colour (ac. to safety data sheet)	White	-	-

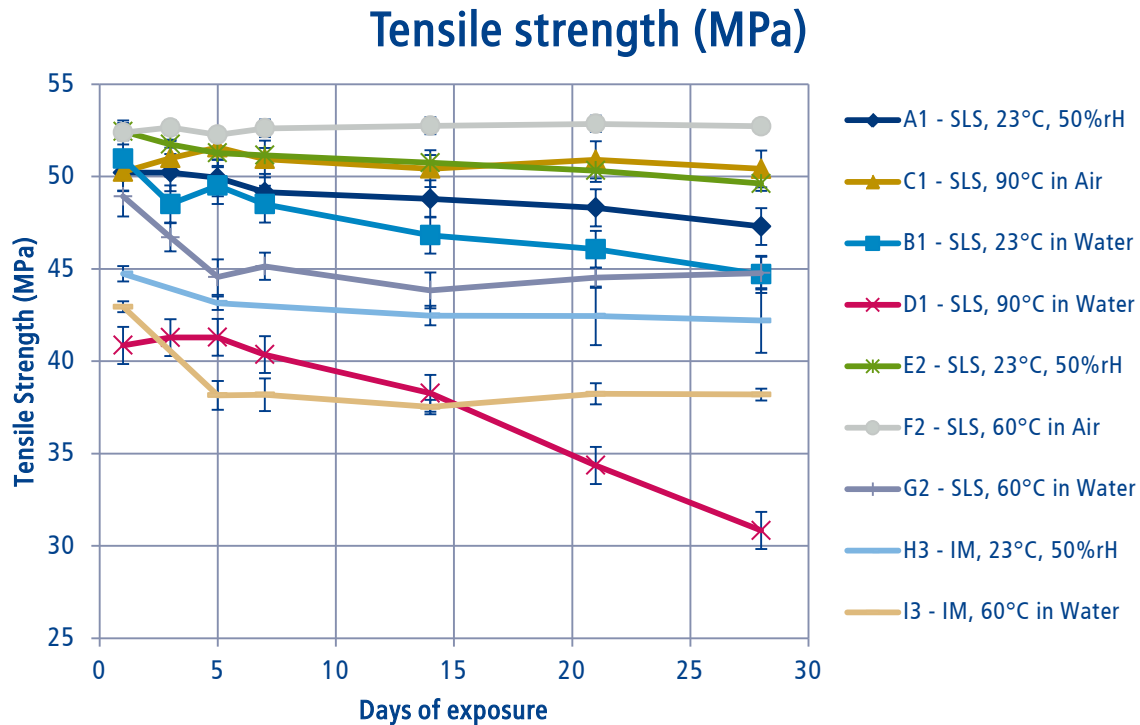
Last change: 2010-03-21 Source: www.materialdatacenter.com

Page: 1/2

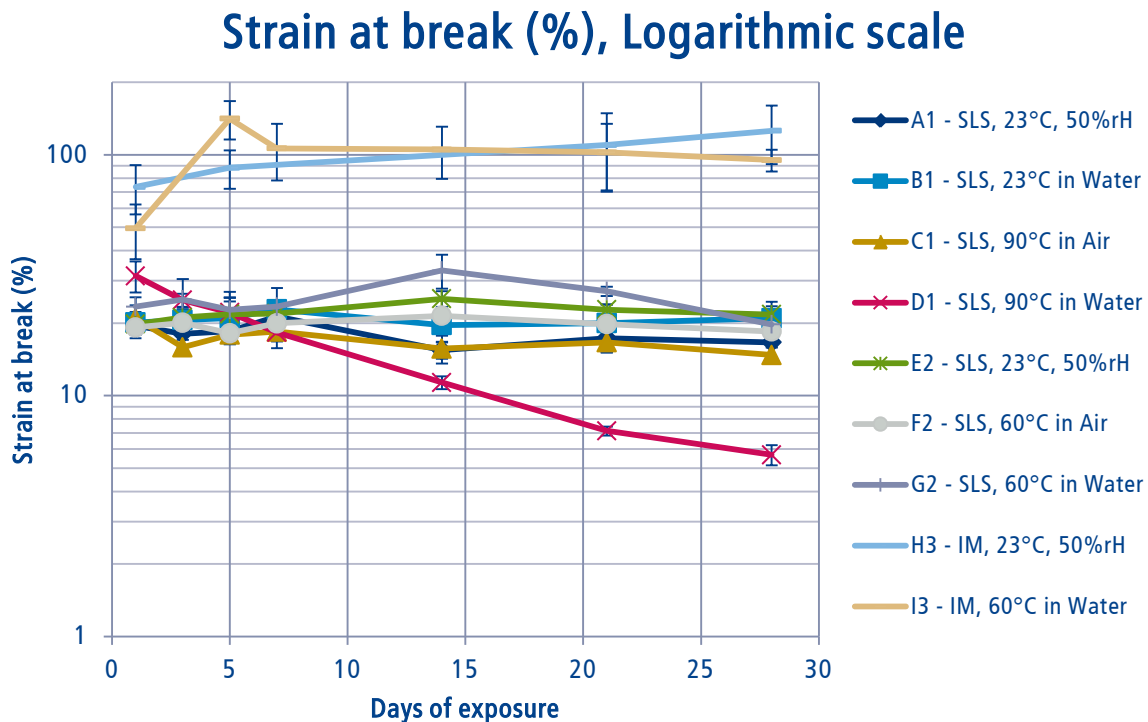
The data correspond to our knowledge and experience at the time of publication. They do not on their own represent a sufficient basis for any part design, neither do they provide any agreement about or guarantee the specific properties of a product or part or the suitability of a product or part for a specific application. It is the responsibility of the producer or customer of a part to check its properties as well as its suitability for a particular purpose. This also applies regarding the consideration of possible intellectual property rights as well as laws and regulations. The data are subject to change without notice as part of EOS' continuous development and improvement processes.

Bijlage B – Grafieken van volledige collectie testresultaten

Deze bijlage bevat grafieken waarin alle testresultaten van het onderzoek zijn weergegeven. In de legenda van de grafieken staat achter het type behandeling het nummer van de batch waarin deze is geproduceerd.

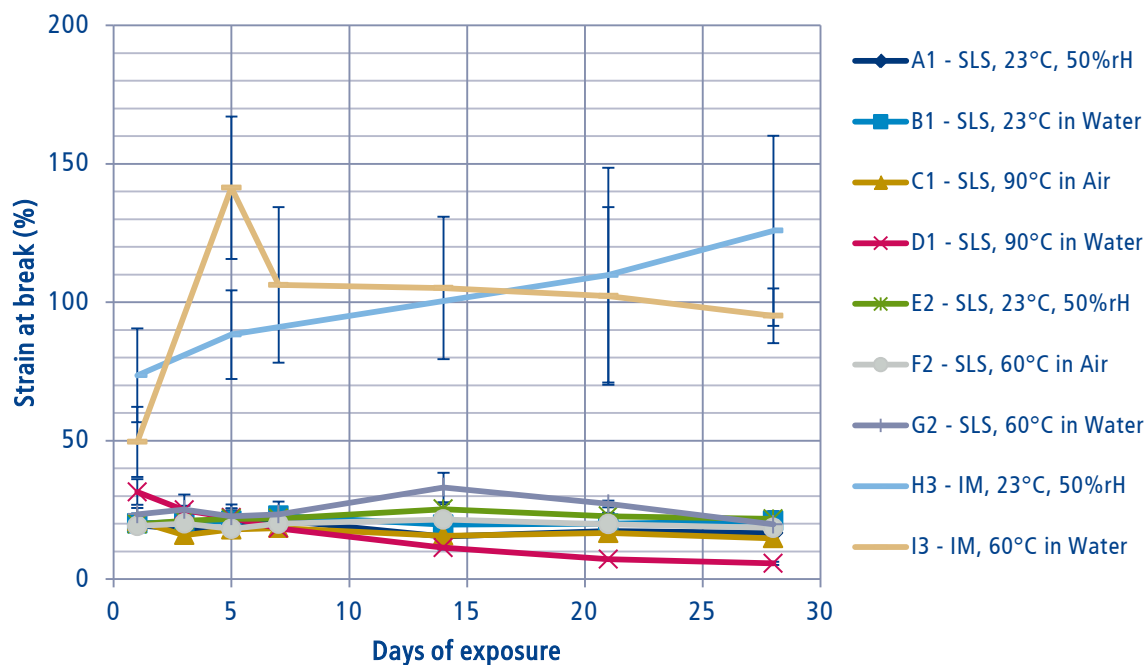


Figuur B1: Grafiek van treksterkte met lineaire schaal op beide assen.



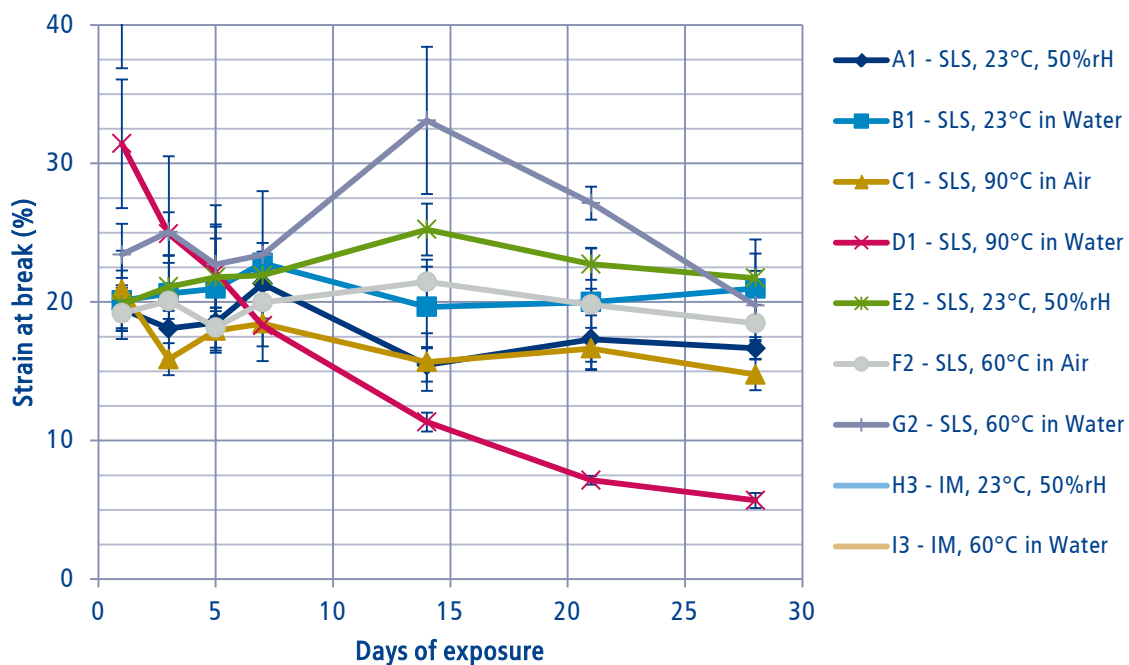
Figuur B2: Grafiek van rek bij breuk met logaritmische schaal op verticale as.

Strain at break (%), Linear scale (1)

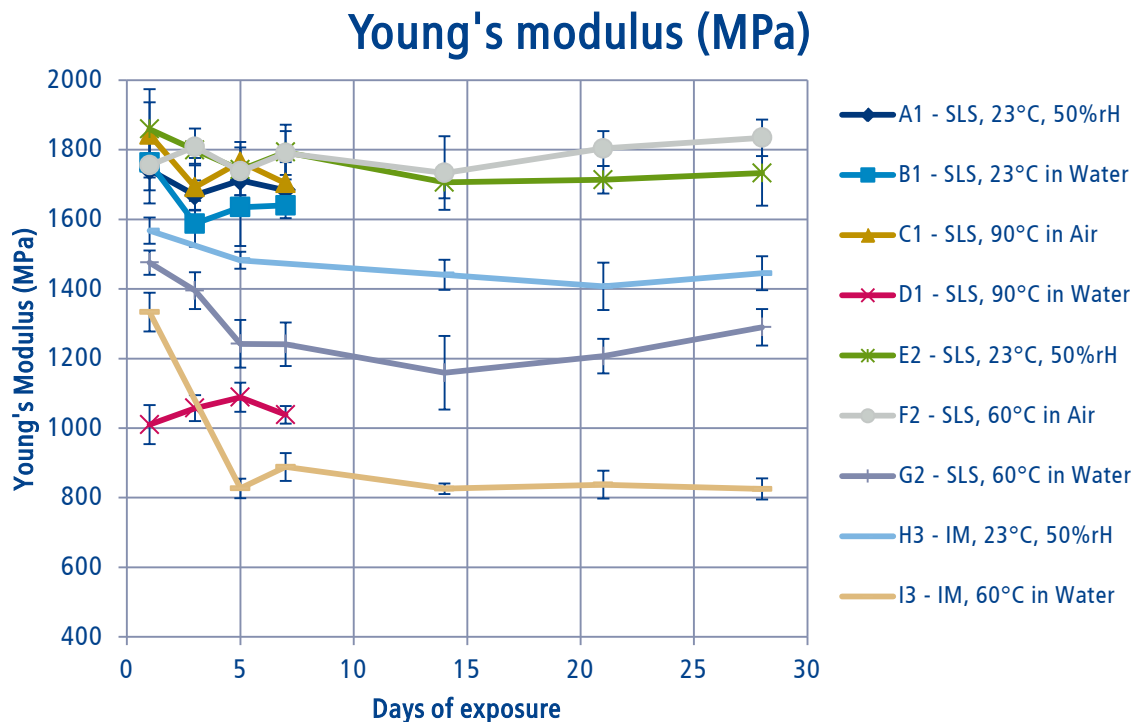


Figuur B3: Grafiek van rek bij breuk met lineaire schaal op beide assen.

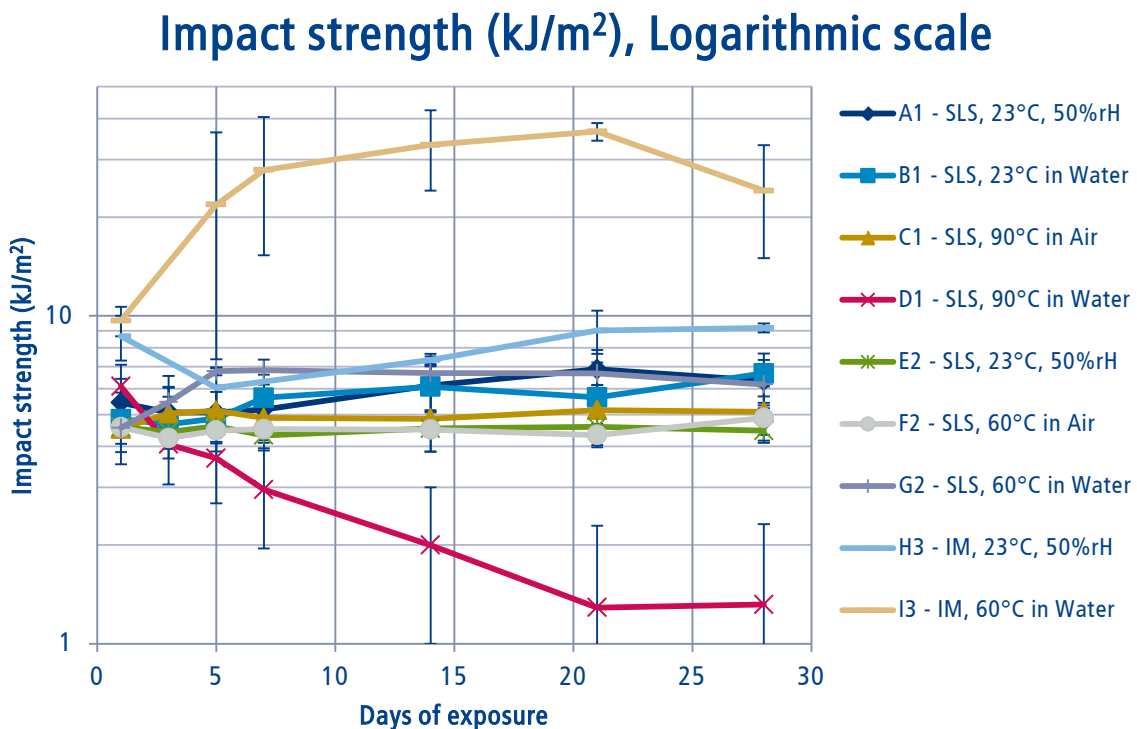
Strain at break (%), Linear scale (2)



Figuur B4: Zelfde grafiek van rek bij breuk als in Figuur B3 met een aangepaste schaal op de verticale as tot 40% rek.

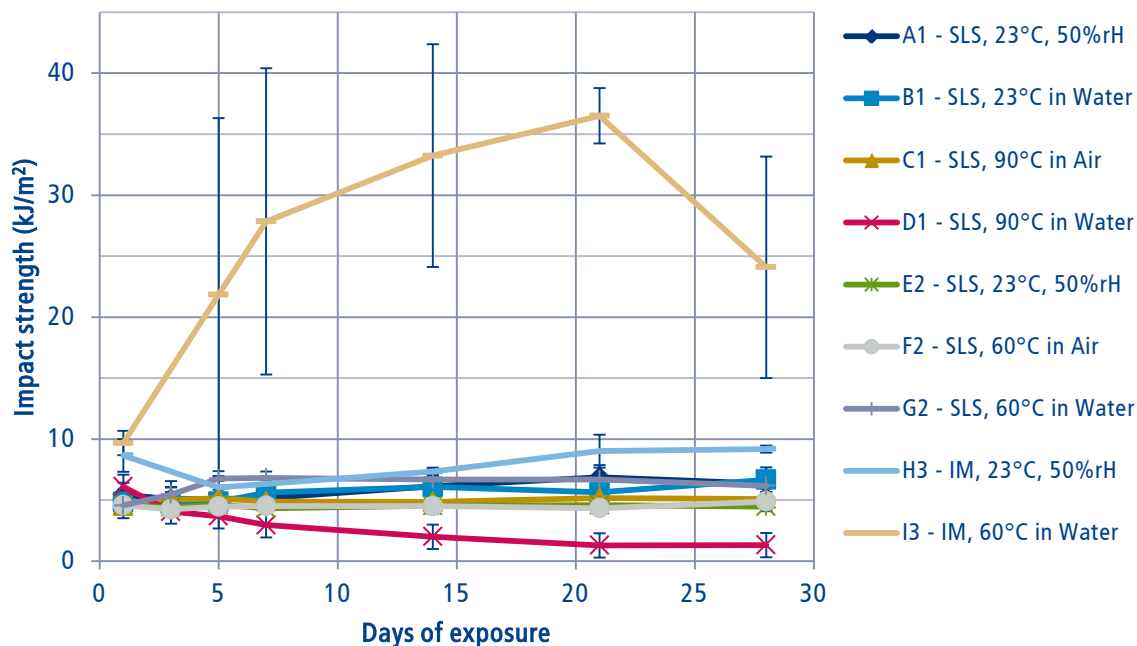


Figuur B5: Grafiek van de Young's Modulus. Vanaf 14 dagen is de modulus van batch 1 niet gemeten in verband met complicaties met de extensometer-module voor lage rekken (modulus-metingen). Deze complicaties zijn opgelost na de reeks proeven van batch 1, waarna batch 2 en 3 gelijktijdig zijn getest.



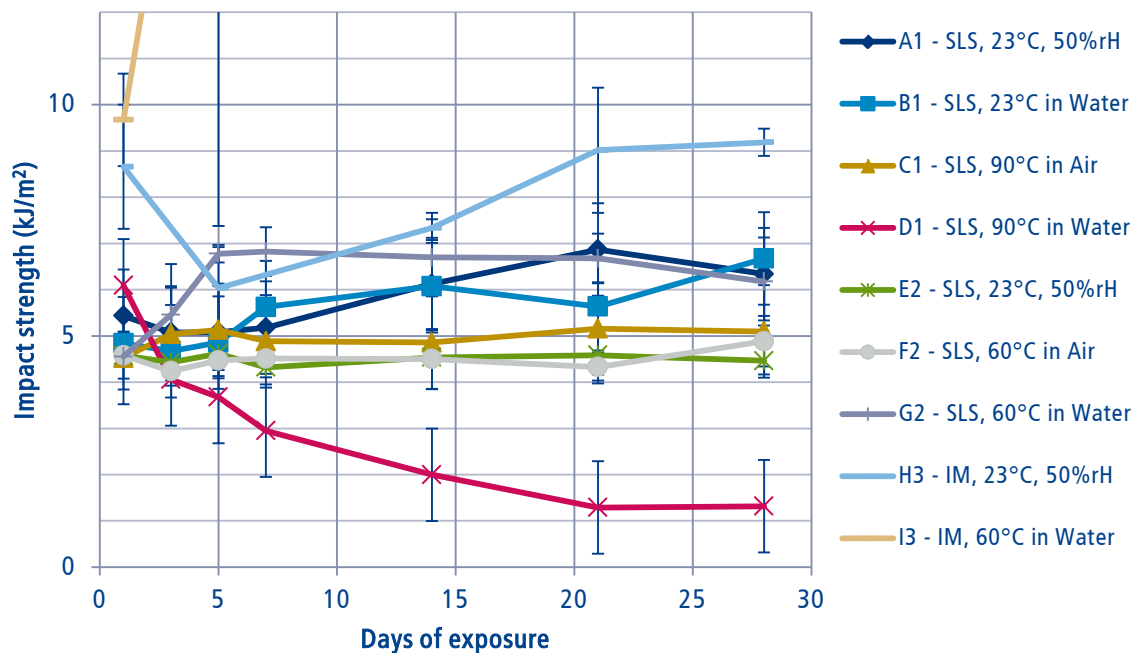
Figuur B6: Kerfslagsterkte (Charpy, notch A, 2J hamer) met een logaritmische schaal op de verticale as.

Impact strength (kJ/m²), Linear scale (1)



Figuur B7: Kerfslagsterkte (Charpy, notch A, 2J hamer) met een lineaire schaal op beide assen.

Impact strength (kJ/m²), Linear scale (2)



Figuur B8: Zelfde grafiek als Figuur B7 met een aangepaste verticale schaal met een bereik tot 12 kJ/m².

4. Hessels – Zeefbanden

Onderzoek naar gebruik van composietmateriaal ter vervanging van staal voor zeefband van rooimachine



Partner:



Bedrijfstak:

Agro

Locatie:

Heiligerlee

Betrokken bij project:

Siem van de Wetering, Tommie Stobbe, Jasper
Bouwmeester en Freek Noordhuis

Hessels is producent van zeefbanden die voornamelijk worden toegepast in de agrarische sector om aardappels, bieten etc. te zeven. Zij kunnen de banden volledig naar de wens van de klant produceren. Zeefbanden bestaan nu uit stalen spijlen die worden geklonken op rubberen trekriemen die worden aangedreven.

Probleemstelling

De huidige zeefbanden zijn relatief zware componenten in rooimachines waardoor het totale gewicht van de rooimachines hoog is. Op een rooimachine worden vijf tot soms wel tien zeefbanden gemonteerd. Deze banden kunnen elk meer dan 150 kg wegen. Bij dit onderzoek is vooral gekeken naar de lichtere zeefbanden de zogenaamde leesbanden. Deze hebben als hoofdfunctie om de producten met de hand te kunnen sorteren, voordat ze naar de opslagbunker worden getransporteerd.



Figuur 2: Zeefband op een aardappelrooimachine

De wens van Hessels is om een band te ontwikkelen die de voordelen van composiet (lichtgewicht, corrosievrij) combineert met de mogelijkheden van de huidige zware stalen band. De hoofdvraag van dit onderzoek is:

'Welke materialen kunnen gebruikt worden om een lichtgewicht leesband te maken en hoe kunnen deze aan de rubberen trekriemen worden bevestigd?'

Onderzoeksopzet

In het huidige ontwerp worden massieve stalen spijlen met klinknagels aan de rubberen trekbanden (Figuur 1, naast informatie over bedrijf op vorige pagina). Aan de hand van dit concept is een Programma van Eisen (PvE) samengesteld voor leesbanden. Deze bestond uit eisen voor mechanische belasting, productie en gebruik.

Eisen

1. Er moet een alternatief materiaal gekozen worden ter vervanging van de huidige stalen spijlen.
2. Bij het alternatieve materiaal voor de spijlen moet een passende verbinding gekozen worden om deze aan de rubberen trekriemen te verbinden.
3. Het nieuwe ontwerp moet een belasting kunnen verdragen van 40 kg/m².
4. De maximale doorbuiging van het nieuwe ontwerp mag niet zo groot zijn dat de doorval zodanig wordt vergroot dat de aardappelen tussen de spijlen door kunnen vallen.
5. Het nieuwe ontwerp moet flexibel genoeg zijn om op een rubberen trekriem gemonteerd te worden die aangedreven wordt door aandrijfwielen met diameter 90 mm.
6. Het nieuwe ontwerp is een lichtgewicht alternatief van de huidige variant, met een gewichtsbesparing van minimaal 50%.
7. De kostprijs van het nieuwe ontwerp is niet meer dan 40% hoger dan de huidige stalen band.

Wensen

8. De nieuwe zeefband bestaat uit een (of een paar) onderdelen die modulair verbonden kunnen worden.
9. De gewichtsbesparing is hoger dan 70%
10. De kostprijs van het nieuwe ontwerp is niet meer dan 10% hoger dan de huidige stalen band.
11. De doorbuiging, ongeacht de doorval, mag niet groter zijn dan 40 mm.

Er zijn drie concepten ontworpen aan de hand van het PvE en een brainstormsessie. Hiervan zijn stukken leesband gemaakt van 0,8 m² om de verbinding en de gehele constructie te kunnen testen. Om dit zo realistisch mogelijk te testen is een testopstelling gemaakt waar een leesband op gemonteerd kon worden. De concepten zijn op de testopstelling opgespannen met een kracht van 500 N per trekriem.

Materiaalkeuze

Het eerste concept (Figuur 4A) is gemaakt van gepultrudeerde GVK-kokerprofielen geleverd door BTM uit Zwolle, met afmetingen van 20x10x1,5 mm. Er zijn blokjes hout als vulling gebuikt om de kokerprofielen te verstevigen voor de boutverbinding. Deze verbinding is vooraf getest door een GVK-kokerprofiel in het midden te belasten tot falen. Hierbij zijn de breekkracht en de faalwijze bepaald van een lijmverbinding en een mechanische verbinding. Er is gekozen voor een mechanische verbinding omdat de breekkracht hierbij significant groter is dan bij een lijmverbinding. De metingen met de mechanische verbinding tonen daarnaast een kleinere spreiding (grote betrouwbaarheid) en is productietechnisch beter geschikt voor deze toepassing.



Figuur 3: Mechanische bevestiging kokerprofiel

Het tweede concept bestaat uit GVK-volstafprofielen met een diameter van 9,5 mm. Deze profielen zijn ingeklemd tussen twee rubberen trekriemen met een boutverbinding (figuur 4 B).

Voor het derde concept (Figuur 4B) is een kunststof net gebruikt met versteviging van de originele stalen spijlen. Deze is met tie-wraps en bouten bevestigd. Dit kunststof net is gemaakt van geëxtrudeerd polyethyleen, met een gaasgrootte van 5,6 x 6 mm en een materiaaldikte van 4,3 mm. Dit materiaal is geleverd door Top Zeven b.v. uit Haarlem. Van dit concept is een variant met 4 spijlen en een variant met 7 spijlen (over een lengte van 0,9 m) beproefd.

Testmethode

In overleg met Hessels is bepaald dat de maximaal optredende constante belasting 40 kg/m² is. In deze situatie met een oppervlak van 0,8 m² komt dat neer op 32 kg aardappelen.

Elk concept is getest op statische en dynamische belasting. Er is een bestaand stuk leesband getest als nulmeting. Bij de statische test is de doorbuiging van de constructie bepaald. Bij de dynamische test is gekeken naar het gedrag van de constructie bij een plotselinge belasting.

De verbinding voor concept 1 is vooraf getest door een GVK-kokerprofiel in het midden te belasten tot falen. Hierbij zijn de breekkracht en de faalwijze bepaald van een lijmverbinding en een mechanische verbinding. Er is gekozen voor een mechanische verbinding omdat de breekkracht hierbij significant groter is dan bij een lijmverbinding. De metingen met de mechanische verbinding tonen daarnaast een kleinere spreiding (grote betrouwbaarheid) en is productietechnisch beter geschikt voor deze toepassing.



Figuur 4: Prototypen composieten zeeffbanden. Afgebeeld in volgorde van boven naar onder:
A) GVK-kokerprofielen, B) GVK volstaf, C) PE net + staal



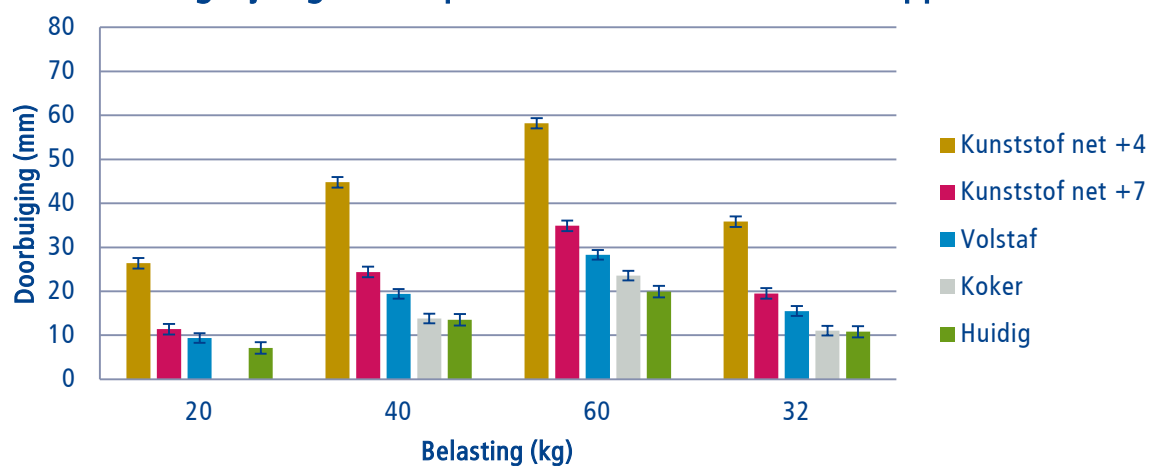
Figuur 5: Test statische belasting.

Doorbuiging

In grafiek 1 is te zien dat het concept met kokerprofielen de kleinste doorbuiging heeft van de geteste concepten. Het concept met volstafprofielen komt op de tweede plek. De verbinding van dit concept was echter te zwak, waardoor deze ondanks de lage doorbuiging niet geschikt is.

De ruimte tussen twee spijlen, de doorval, kan in de huidige situatie als gevolg van de doorbuiging groter worden. Indien deze doorval te groot wordt kunnen kleinere aardappelen van de band vallen. Bij gebruik van een kunststof net wordt dit risico vermeden omdat de gaasgrootte bij iedere belasting nagenoeg constant is. De variant waarbij het net wordt ondersteund door 4 stalen spijlen resulteert al bij een lichte overbelasting in een doorbuiging van meer dan 40 mm. Hierdoor is de variant met 7 ondersteunende spijlen beter geschikt voor deze toepassing.

Vergelijking ontwerpen - statische test met aardappelen



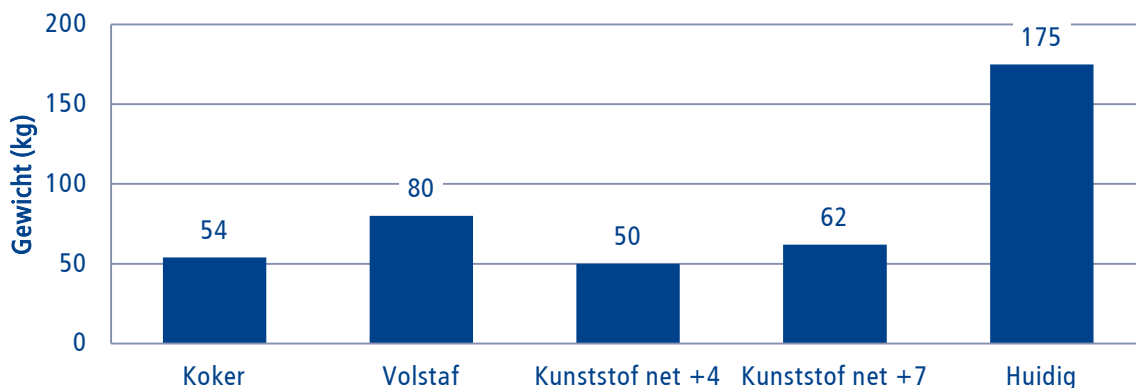
Grafiek 1: Doorbuiging verschillende ontwerpen.

Gewichtsbesparing / Kostprijs

Naast de doorbuiging is ook de gewichtsbesparing bepaald. De twee concepten die voldoen aan de eisen voor doorbuiging, de kokerprofielen en het kunststof net met 7 stalen spijlen (per 0,9 m) resulteren in een gewichtsbesparing van respectievelijk 70% en 65%. Hierbij is rekening gehouden met alle onderdelen van een leesband.

De kostprijs van deze twee concepten ligt dicht bij de huidige leesband. Een huidige leesband kost €464,61. Een band met kokerprofielen is in theorie maximaal 20% duurder, terwijl de prijs van het concept met het kunststof net gelijk is aan de huidige band.

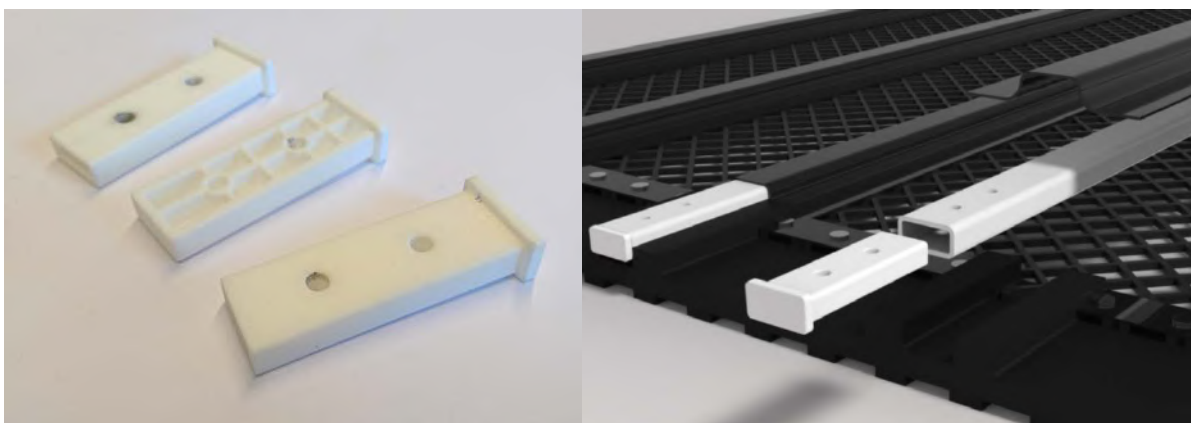
Gewicht leesband 8848x900 mm



Grafiek 2: Gewicht verschillende leesbanden.

Optimalisatie

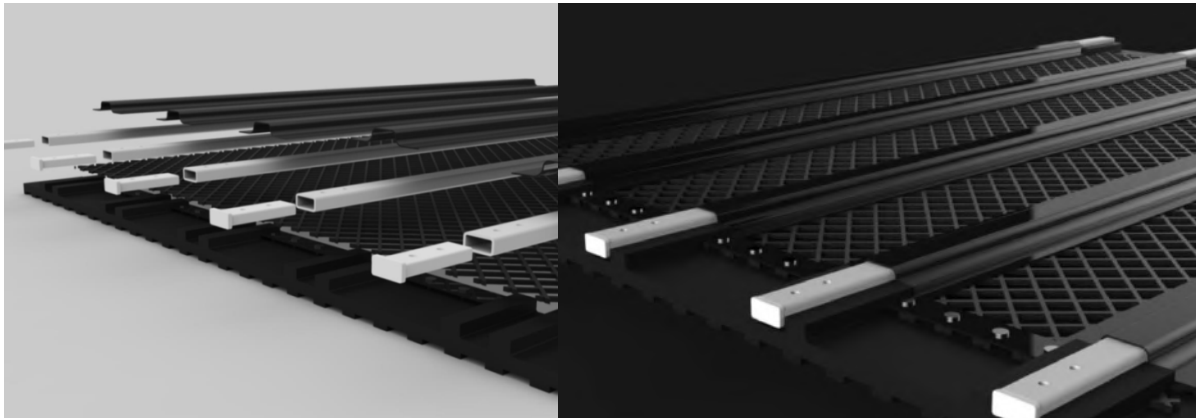
Uit de tests blijkt dat de kokerprofielen voldoende buigstijfheid hebben om het staal te vervangen. Ook is de gekozen verbinding sterk genoeg. Productietechnisch kan gedacht worden aan een popnagelverbinding of klinkverbinding. Hierbij is het mogelijk om ter versterking een kunststof spuitgietdeel te gebruiken (weergegeven in Figuur 6).



Figuur 6: Verbindingen m.b.v. kunststof spuitgietdeel

Het kunststof net is interessant door het behoud van de doorval. In overleg met Hessels is een combinatie van deze twee concepten bedacht, waarbij vezelversterkte kunststof kokerprofielen op het kunststof net bevestigd worden door een PE zeil op het net te lassen. Het kunststof net kan met (blind)klinknagels en pvc zeil op het rubber worden bevestigd (Figuur 7).

Deze combinatie genereert een theoretische gewichtsbesparing van 80%. Bovendien heeft Hessels reeds ervaring met deze productiewijze en verbindingstechnieken.



Figuur 7: CAD model van de leesband met het kokerprofiel en het net gecombineerd

Conclusie

In de gebruikte testopstelling voldoen de twee bewezen concepten (GVK-kokers en minder stalen profielen + net) aan de gestelde eisen. Een combinatie van de twee concepten kan een nog grotere gewichtsbesparing van 80% opleveren. De verbindingen zijn betrouwbaar en de theoretische kostprijs ligt in de buurt van de huidige situatie. Productietechnisch zijn er wijzigingen door te voeren. Deze aanpassingen kunnen door Hessels gerealiseerd worden, waarbij reeds bekende verbindingstechnieken toegepast kunnen worden. De volgende stap is het produceren en testen van deze lichtere leesband. Hierbij moet gelet worden op de lange-duur eigenschappen en de slijtage van de gebruikte materialen.

Bronnen

- [1] Nijssen, R. (2013). Composieten basiskennis. Gouda: Hogeschool Inholland
- [2] Kooijman, M. , Pallada, M., Materiaalkunde voor Technici, Den Haag, Academic Service, 2009
- [3] W R Broughton, L E Crocker and M R L Gower, Design Requirements for Bonded and Bolted Composite Structures, NPL Report MATC(A)65, UK, January 2002
- [4] <http://www.vkcn.nl/over-composieten/construeren>
- [5] <http://www.creativepultrusions.com/products-solutions/fabrication-capabilities/pultexc2ae-pultrusion-design-manual1/>

5. ICO – Composite wheel loader bucket

Research into improving abrasion resistance of composites with coatings and fillers



Partner:



Industry:

Composite development

Location:

Emmeloord

Involved in project:

Leonie Schmid, Coen Bonnes, Bas Hazekamp, David Salemons, Pieter Schreuder, Ghassan Radha & Freek Noordhuis

ICO is an Institute for Composite Development. The company links expertise on innovation processes to knowledge about fibre reinforced plastics (composites). ICO does this with other knowledge centres like our Professorship for Polymer Engineering.

Problem description

ICO developed a wheel loader bucket from composite material (vinyl-ester and fibre glass) with reduced deadweight by 30%, increased allowed cargo weight by 10% and improved fuel efficiency and worktime. A prototype has been tested in the field for six months. ICO encountered several problems with the tested prototype. One of the biggest problems is signs of major surface wear and tear.

The goal of this project was to find a material (layer or filler) that can reduce wear and tear, and therefore increase the lifetime of the bucket.

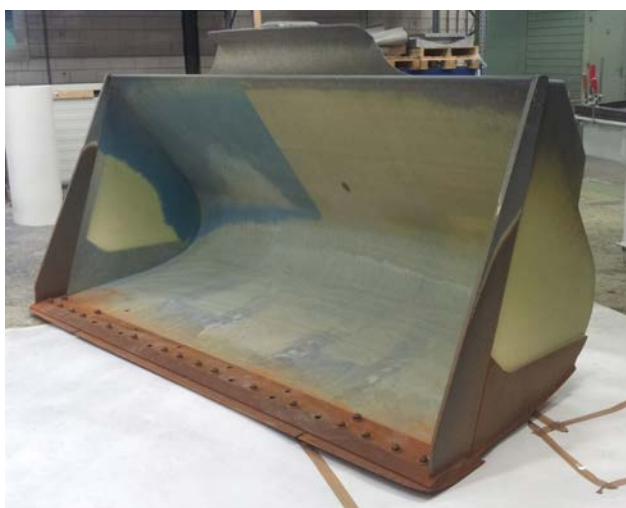


Figure 2: Prototype bucket after six month test period.

Requirements

The requirements and demands that were specified: a service life of 5 to 10 years; annual maintenance is acceptable. The maximum increased production time of the bucket of 2-4 hours, with a maximum cost increase of € 500 / unit. It has to be suitable with sand, brick sand, potting soil and if possible, dry food such as grain. Maximum load of 2 tonnes.

Approach

To understand the problem and to find a solution for it, an extensive desk research was performed. Several materials were found to protect the bucket by adding a filler to the resin or an extra layer (coating) on the bucket surface. The selected materials are:

- Extra layers or coatings
 - o Polyurethane
 - o Steel
 - o Hardened anodised aluminium
 - o Ceramic tiles (with HSB WearProtect)
- Fillers (micro-sized additives to the resin)
 - o Diamond-like carbons
 - o Graphite

Testing method

A plan of testing is made with the use of standards (were possible).

Testing machines and methods:

- (1) Sandblasting
- Los Angeles abrasion machine (ASTM C131)
- (2) Pin on disk (ASTM G99, NEN-EN 1071-13)
- Block on ring model (ASTM G77)
- Darmstadt (DIN EN 295-3)
- Taber abrasion test (ISO 9352, DIN 53754, ASTM 1044)

Most methods use weight decrease to determine the percentage of wear. For this project Sandblasting (1) was chosen because it is a good indication of sliding wear (as close to $\alpha=0^\circ$ as possible, see Figure 3).

Blasting setup:

- Aluminium oxide grit (mesh size between 30-60)
- 15 minutes test duration
- 10° impact angle

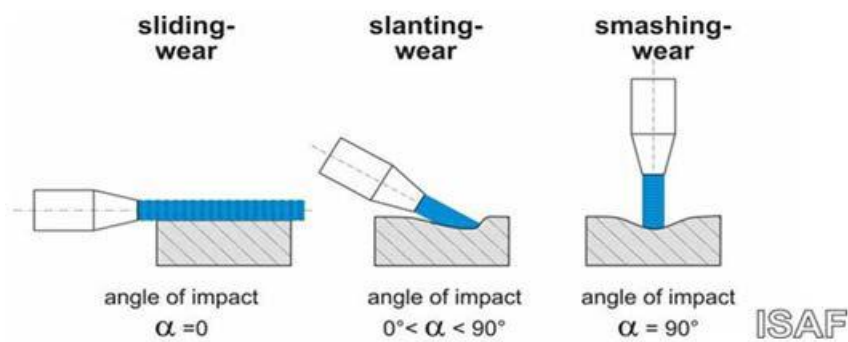


Figure 3: Sandblasting angle of impact

Secondly the Pin on disc (2) method was carried out as a first indication, under relatively stable testing conditions.

Machine: Ducom (TR-20-mirco)

Pin on disk setup:

- Used pin: WearProtect HSB (± 9 Mohs scale)
- Test duration of 60 minutes
- Load of 20N

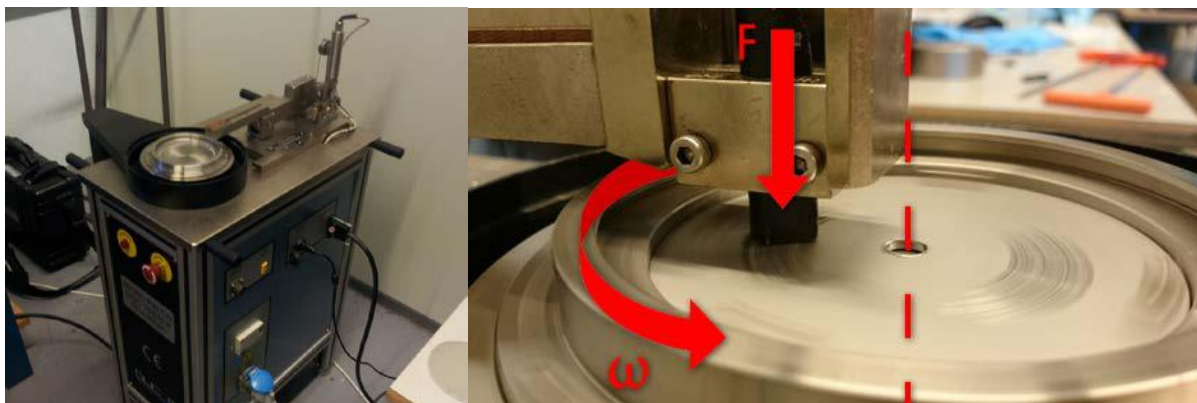


Figure 4: Pin on disc, Ducom (Tr-20-Mirco). Left: Overview of machine. Right: Detail view of pin-on-disc setup.

Sample preparation fillers

Diamond-like carbons

This product was received as a powder, premixed with SiC particles from the supplier ready to mix with the resin with the following amounts of each material:

Material	Amount (g)	Property
Resin (VE100)	893	Yellowish resin, with small red flacks in it
Cobalt	6	Dark fluid, (low amount violet)
Hardener (CHM50)	12	Transparent, smelly liquid
Filler	103	Grey powder

Table 1: Composition of the diamond resin

Graphite

The already existing graphite powder was added to the resin in the same way as the Diamond-like powder with the following amounts of each material:

Material	Amount (g)	Property
Resin (VE100)	893	Yellowish resin, with small red flacks in it
Cobalt	6	Dark fluid, (low amount violet)
Hardener (CHM50)	12	Transparent, smelly liquid
Graphite Powder (432)	99	Black powder

Table 2: Composition of graphite resin.

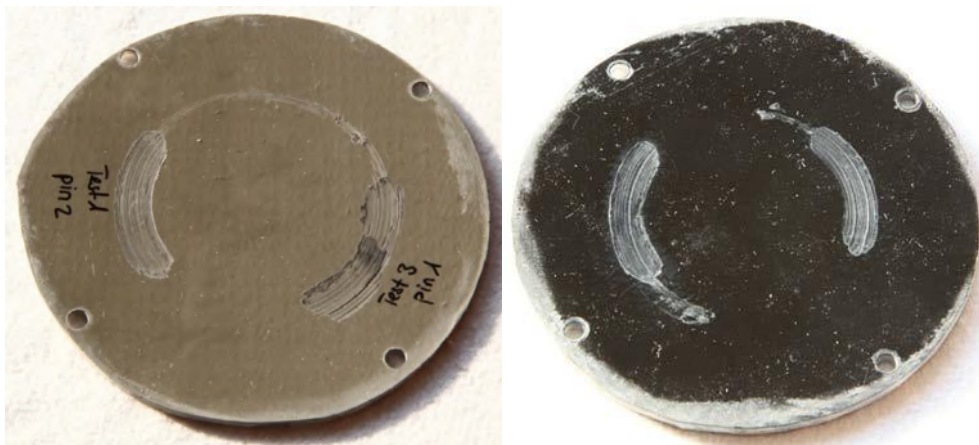


Figure 5: Samples diamond like-carbons and graphite

Extra layers/coating

Ceramics

- HSB WearProtect (graphite+aluminium oxide-filled epoxy glue, Wivé)
- Applied to 'backbone' plate (in this case composite)
- Tiles pressed on glue and hardened (Kalocer 2,0mm, Wivé)

Polyurethane

- PU solid plate (Hawilfex 10mm, Wivé)
 - For testing PU a solid plate was used instead of an extra layer



Figure 6: Samples. Left: Ceramic tiles, Right: Polyurethane.

Results

The result of the wear form the reference material tested on the Pin On Disc are summarised in Table 3.

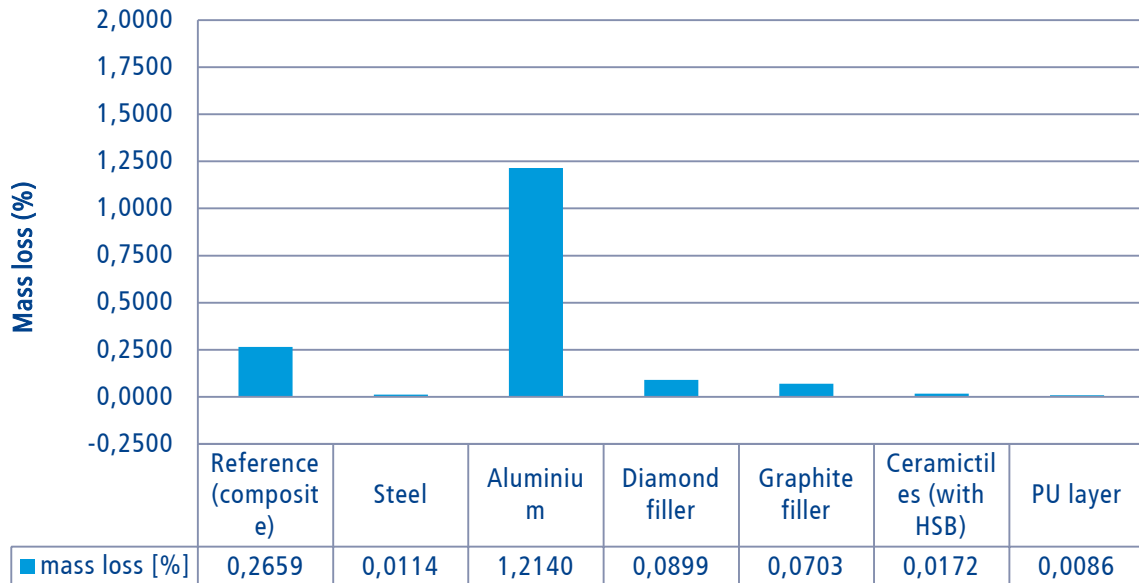


Table 3: Mass loss (%) tested materials pin on disc.

The mass loss of Polyurethane is lowest followed by steel and the ceramic tiles. We expected more wear resistance from the fillers. The result of the wear form the reference material tested with the sandblasting method are summarised in Table 4.

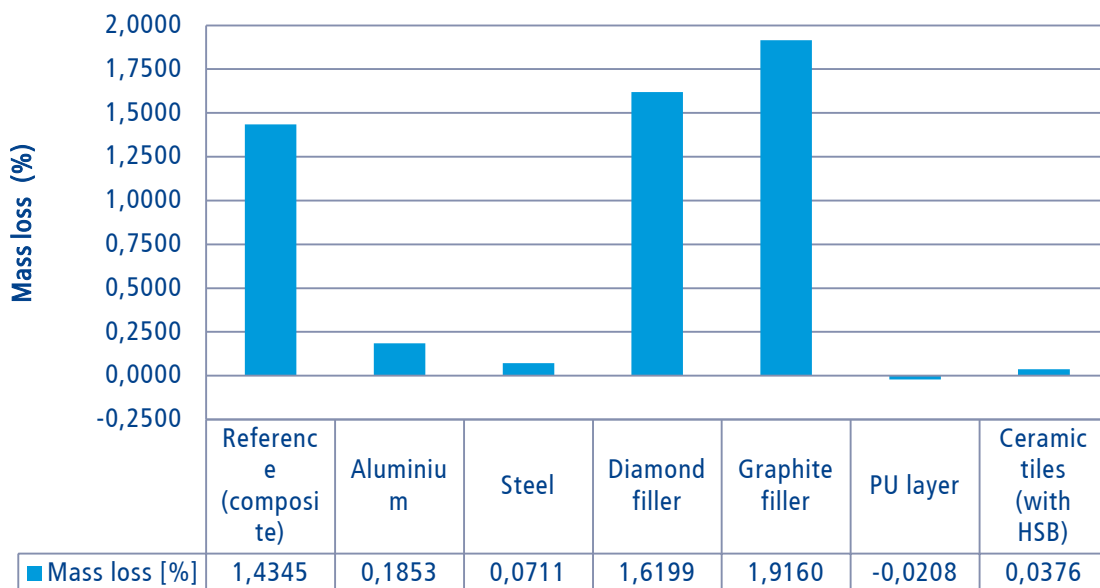


Table 4: Mass loss (%) tested materials sandblasting

Also here the mass loss of Polyurethane is the lowest followed by the ceramic tiles and steel. We expected more wear resistance from the fillers. In our observations it seems that the fillers (the hard particles) come loose from the basic material during the short period of sandblasting.

Conclusion and Recommendations

Best based on wear: Polyurethane, ceramic tiles and steel are the best option. Because the whole idea behind the composite bucket is weight saving, steel and the ceramic tiles are not an option. Therefore polyurethane seems to be the best option.

Application of the polyurethane can be done with spray-up. This technique allows a varying layer thickness, which comes in handy when trying to keep the added weight to the bucket as low as possible. Areas with high wear values can, for example, get a protection layer of 4 mm, whereas the areas with low wear values might only be 1-2 mm. This is based on a one-year lifetime, after which the product has to be checked and re-sprayed until the values for the set thickness are met.

The two unknown factors with polyurethane are:

- Adhesion (shear strength of the bond)
- Surface behavior (stickiness)

The advice is to test the PU protection layer in the field and search cooperation with a company like Kobato, which can apply the PU layer.

Literature

- [1] Use of Au Nanoparticle-Filled PTFE Films to Produce Low-Friction and Low-Wear Surface Coatings, Samuel Beckford, Jiyu Cai, Jingyi Chen, Min Zou; Chen, Y., Lin, H., Lee, Y.: The effects of filler content and size on the properties of PTFE/SiO₂ composites. J. Polym. Res. 10, 247–258 (2003).
- [2] Tribological behaviours of plasma-treated carbon composite grooved surfaces, Seong Su Kim, Ha Na Yu, Dai Gil Lee, Hideaki Murayama, Kazuro Kageyama
- [3] Supertough wear-resistant coatings with 'chameleon' surface adaptation, A.A. Voevodin, J.S. Zabinski
- [4] Wear Mechanisms, K. Kato, K. Adachi, CRC Press LLC, 2001
- [5] Improvement of abrasion resistance of epoxy resin by combination of micro- and nano-particles to a hybrid composite material, A. Noll, Journal of Plastics Technology, 2008
- [6] Material data sheet K A L O C E R, Kalenborn, 20.11.2009
- [7] Materiaaleigenschappen Kobaflex and Kobaflex, Kobato
- [8] High quality amine functionalized nanodiamond powder, with highly positive surface chemistry, Carbodeon, 15.04.2015
- [9] WearProtect HSB EP-spachtel- & lijmmassa, Wivé techniek
- [10] Wear Resistant Thermoplastics a Reference and guide to Wear and Friction Test Data, RTP Co.
- [11] Overslag station, TME & Lectorat Kunststoftechnologie, M. Hopster, 12.06.2015
- [12] Advanced Lubrication for Energy Efficiency, Durability and Lower Maintenance Costs of Advanced Naval Components and Systems, D. Demydov, 08.2010
- [13] Laboratory wear testing of polyurethane elastomers, D.J.T. Hill, et al., 20.06.1996
- [14] Long-term behaviour of epoxy/graphene-based composites determined by dynamic mechanical analysis, Luis C. O. Silva, et al., 19.01.2015
- [15] Effect of UV and water spraying on the mechanical properties of flax fabric reinforced polymer composites used for civil engineering applications, Libo Yan, et al., 2015
- [16] Effect of water, seawater and alkaline solution ageing on mechanical properties of flax fabric/epoxy composites used for civil engineering applications, Libo Yan, Nawawi Chouw, 2015
- [17] Glass encapsulated minerals for self-healing in cement based composites, A. Kanellopoulos, T.S. Qureshi, A. Al-Tabbaa, 8.06.2015
- [18] Impact fatigue behaviour of carbon fibre-reinforced vinylester resin composites, R. Roy, et al., 24.07.2000
- [19] Behaviour of E-glass fibre reinforced vinylester resin composites under impact fatigue, R. Roy, et al., 2.04.2001
- [20] Behaviour of E-glass fibre reinforced vinylester resin composites under impact fatigue, MetaLine
- [21] Durability of flax-basalt hybrid composites for marine applications, V. Fiore, et al., 07.2015
- [22] Wear performance of PVD coated tool steels, A. Tshinjan, et al., 05.2012
- [23] Micromechanical Modeling of Transport Properties of Cement-Based Composites: Role of Interfacial Transition Zone and Air Voids, R. Yand, et al., 2015
- [24] A randomized controlled 27 years follow up of three resin composites in Class II restorations, J.W.V. van Dijken, U. Pallesen, 2012

www.vinkkunststoffen.nl

www.kobato.nl

6. Lectoraat Kunststoftechnologie – SLS Printing

Invloed van positie in het bouwvolume op de mechanische eigenschappen van SLS-geprint PA12



Partner:

Windesheim

Bedrijfstak:

Onderwijs, onderzoek

Locatie:

Zwolle

Betrokken bij project:

Siem van de Wetering, Céleste Brommer, Emiel Diederiks, Paul Dijkstra en Freek Noordhuis

In de afgelopen jaren bevinden ontwikkelingen met Additive Manufacturing (AM) zich in een stroomversnelling. Één van deze technieken, Selective Laser Sintering (SLS), is bij uitstek geschikt voor functionele en hoog belastbare onderdelen. Tevens kunnen een hoge productiviteit en lage kosten per onderdeel worden gerealiseerd. Dit gebeurt door het plaatsen van vele producten binnen het bouwvolume, zodat deze gelijktijdig in dezelfde printjob worden geproduceerd. Dit maakt SLS mogelijk een interessant alternatief voor spuitgieten bij serieproductie tot enkele duizenden stuks.

Hoewel het gelijktijdig printen van producten de kosten drukt, kan dit ook invloed hebben op de productkwaliteit. Van oriëntatie is bekend dat de treksterkte en rek bij breuk van SLS-geprint PA12 in de Z-richting lager uit kunnen vallen. In de Z-richting is de nauwkeurigheid ook lager als gevolg van de laagdikte. Op soortgelijke wijze zou de positie van een product in het bouwvolume een invloed kunnen hebben op de mechanische eigenschappen.

In het project Kunststoffen in de Machinebouw II (KIM II) is onder andere onderzoek verricht naar de mechanische eigenschappen van SLS geprint PA12 onder bedrijfsomstandigheden en lange duur. Hierbij is het niet haalbaar de proefstukken op dezelfde positie te printen. Om deze reden is het van belang te weten welke verschillen in mechanische eigenschappen tussen proefstukken worden geïntroduceerd door positie in de printer. Dergelijke kennis is ook relevant bij het toepassen van SLS voor eindproducten.

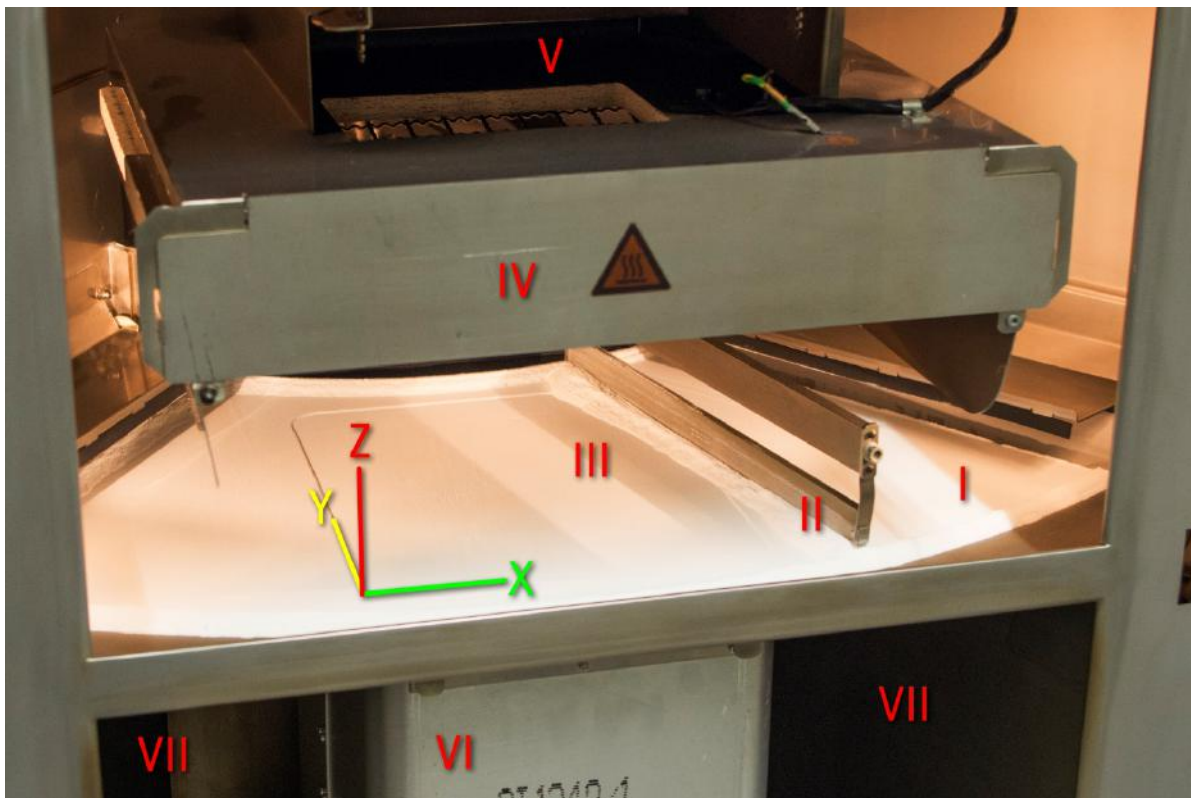
Doel

In het onderzoek is het doel inzicht te krijgen wat de invloed is van positie in het bouwvolume op de mechanische eigenschappen van SLS geprint PA12. In het onderzoek is uitgegaan van 'PA2200' van EOS; een ongevuld type PA12 welke in SLS veel wordt toegepast. In het onderzoek is gebruik gemaakt van de EOS Formiga P100 machine bij de Hogeschool Windesheim.

Opzet proeven

Het onderzoek spitst zich toe op de invloed van positie in het bouwvolume op de mechanische eigenschappen. Verschillende posities zijn getest door het printen van proefstukken en testen van deze proefstukken door middel van trekproeven en kerfslagproeven. De invloed van oriëntatie is in dit onderzoek niet nader bestudeerd. Dit is in verband met de beschikbare literatuur op dit onderwerp, en omdat het niet ongebruikelijk is de printoriëntatie van een ontwerp vast te leggen.

Allereerst volgt een beknopte uitleg van het printproces; zie figuur 1 voor visuele ondersteuning. Het poederbed (I) wordt neergelegd door een wisser (II). Van bovenaf wordt het printoppervlak (III) verwarmd met een verwarmingselement (IV) tot ca. 170°C, dicht bij het smeltpunt. Op het printoppervlak (III) wordt door een bewegende laserstraal (V) de dwarsdoorsnede van het product versmolten. Deze cyclus herhaalt zich met 0,1 mm laagdikte per keer. De geprinte lagen bewegen omlaag in een bak (VI), welke door verwarmingselementen in de omliggende ruimte (VII) op ca. 150° C wordt gehouden tot het bouwproces is afgerond.

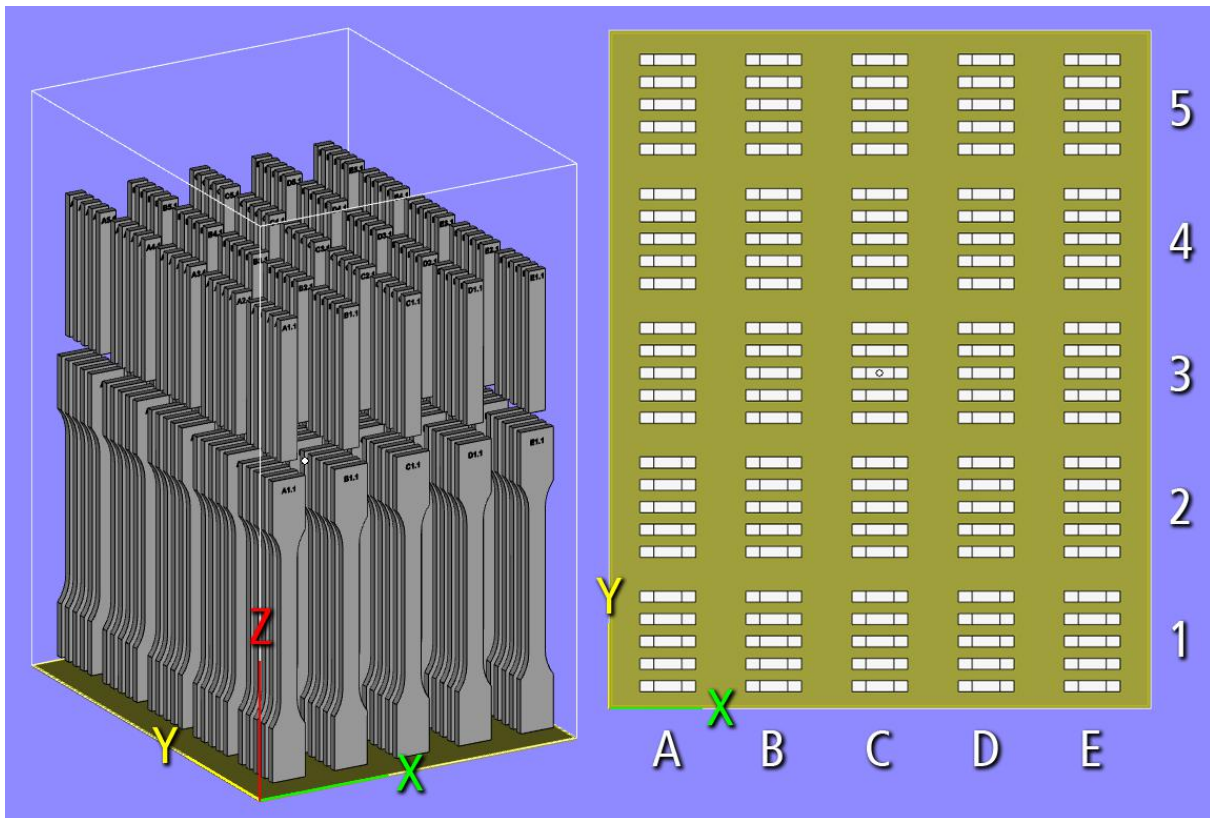


Figuur 1: De proceskamer van de EOS Formiga P100 printer, waarin het assenstelsel van het bouwvolume staat aangegeven. Enkele belangrijke componenten staan genummerd voor de uitleg van het printproces (boven het figuur).

De invloeden van printpositie opgedeeld in twee groepen: De XY- positie ofwel de positie op het printoppervlak, en de Z-positie ofwel de positie in de hoogte van het bouwvolume. Het assenstelsel staat weergegeven in figuur 1.

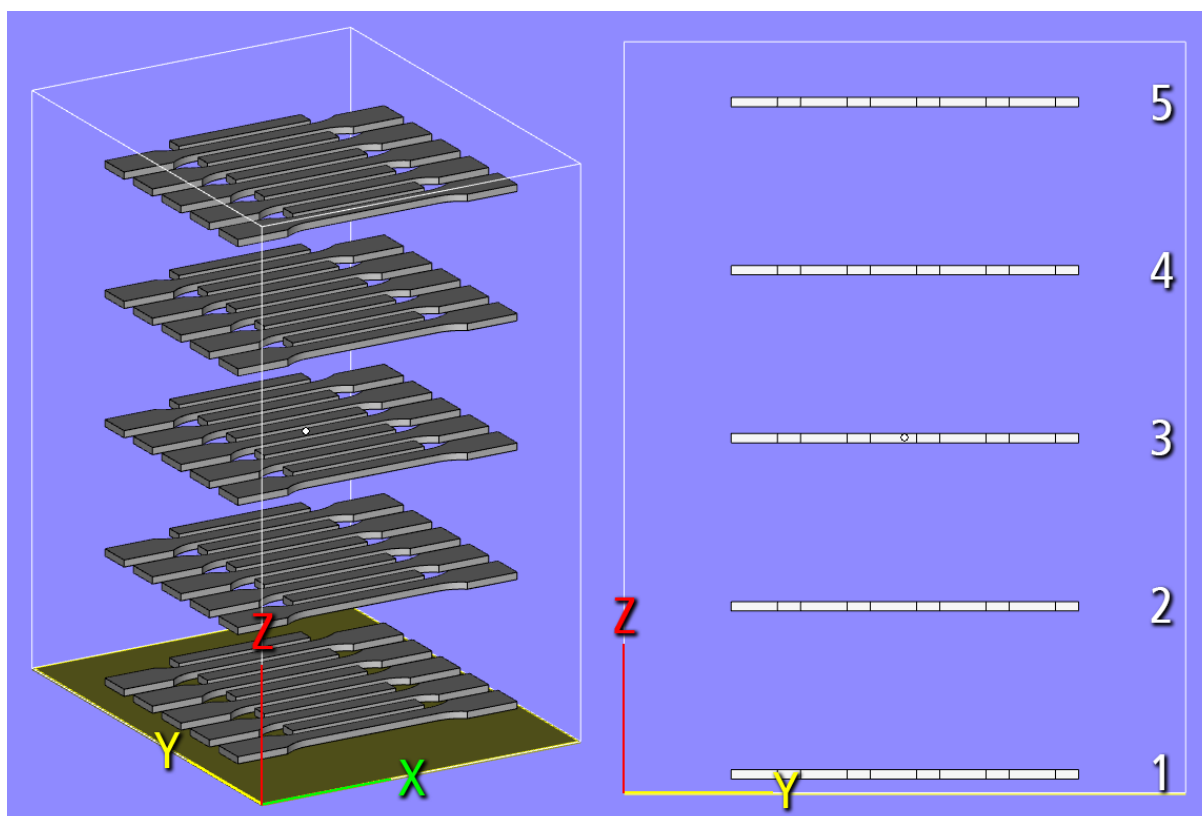
Waarbij de XY-positie wordt beïnvloed door effecten die in elke laag van het proces optreden, zou de Z-positie kunnen worden beïnvloed door een verschil verblijftijd bij hoge temperatuur (de lagen welke als eerste wordt geprint kunnen tot enkele tientallen uren langer bij hoge temperatuur verblijven dan de lagen welke als laatste worden geprint).

Met de XY-positie en Z-positie als uitgangspunten zijn twee printjobs samengesteld, afgebeeld in figuur 2 en 3. Beide jobs maken gebruik van zones waarin 5 trekstaven en 5 impactstaven per zone geclusterd zijn geplaatst. In de XY-positie printjob (figuur 2) is een indeling gemaakt van 25 zones over het printoppervlak.



Figuur 2: De indeling en oriëntatie van de proefstukken voor de XY-positie test (Links: Overzicht, Rechts: Bovenanzicht). Het XY-vlak is ingedeeld in 25 zones, waarbij in elke zone 5 trekstaven en 5 impactstaven worden geprint, geplaatst in de Z-oriëntatie.

De proefstukken zijn in de Z-richting (verticaal) georiënteerd. In de Z-positie printjob (figuur 3) zijn 5 zones gemaakt in de Z-richting, verdeeld over de gehele hoogte van het bouwvolume. De proefstukken zijn georiënteerd in de X-richting.



Figuur 3: De indeling en oriëntatie van de proefstukken voor de Z-positie test (Links: Overzicht, Rechts: Zij aanzicht). Het Z-vlak is ingedeeld in 5 zones, waarbij in elke zone 5 trekstaven en 5 impactstaven worden geprint, geplaatst in de X-oriëntatie.

De trek- en kerfslagproeven uitgevoerd bij het Polymer Science Park in Zwolle, waarbij is getest op maximale treksterkte, rek bij breuk en de Charpy kerfslagsterkte. Enkele belangrijke gegevens van de proeven staan weergegeven in tabel 1. Voordat de proeven zijn uitgevoerd zijn de proefstukken 5 dagen in een klimaatkast geconditioneerd bij 23°C, 50%rH.

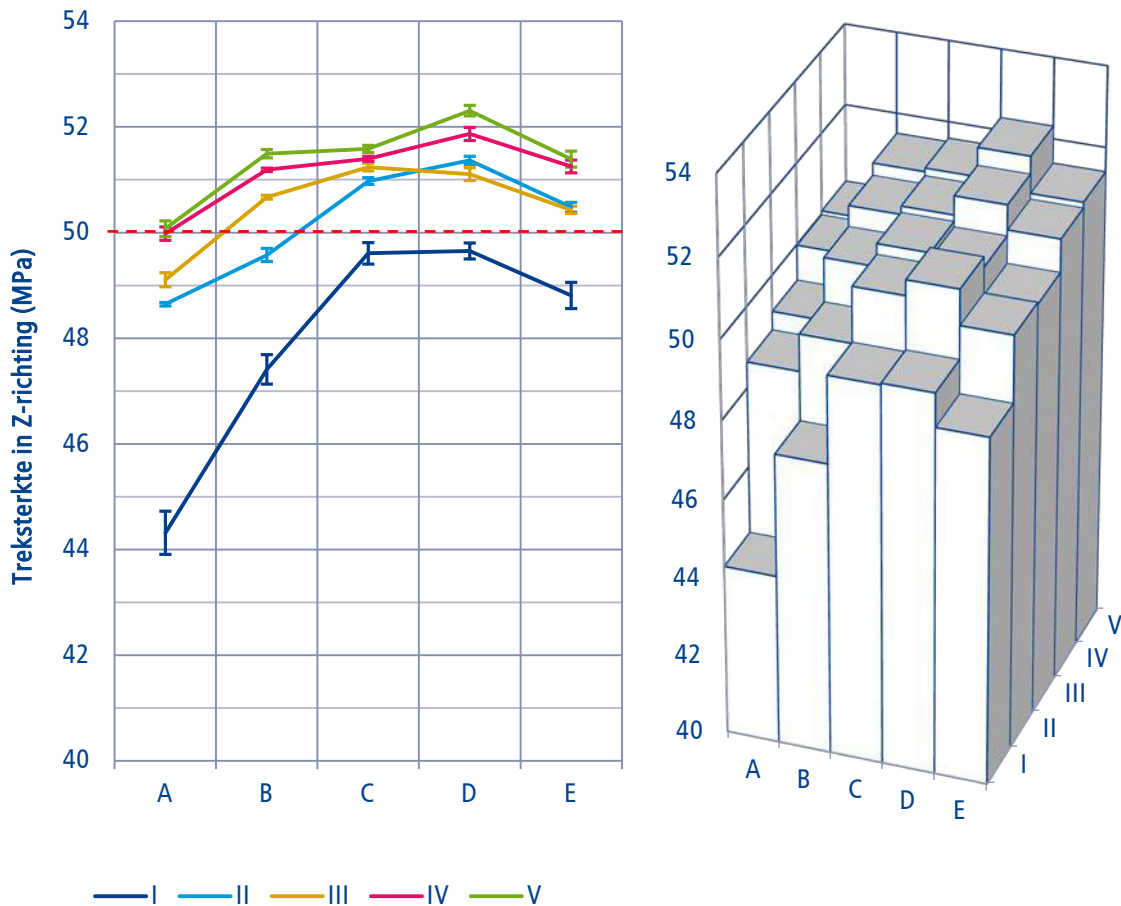
Materiaaleigenschap	Type proef	Type proefstuk	Notities
Maximale treksterkte (MPa)	Trekproef	ISO 527-2/1A	Testsnelheid 50mm/min.
Rek bij breuk (%)	Trekproef	ISO 527-2/1A	Testsnelheid 50mm/min.
Charpy impactsterkte (kJ/m ²)	Kerfslagproef	ISO 179-1/1eA	Test uitgevoerd met 2J hamer

Tabel 1: Beknopte specificatie van materiaaleigenschappen en proeven welke in kader van het onderzoek zijn uitgevoerd.

Resultaten

Als eerst zijn de resultaten van de 'XY-positie' proef geanalyseerd. De resultaten zijn in grafieken afgebeeld in figuur 4 (treksterkte), 5 (rek bij breuk) en 6 (kerfslagsterkte).

Treksterkte, XY-positie

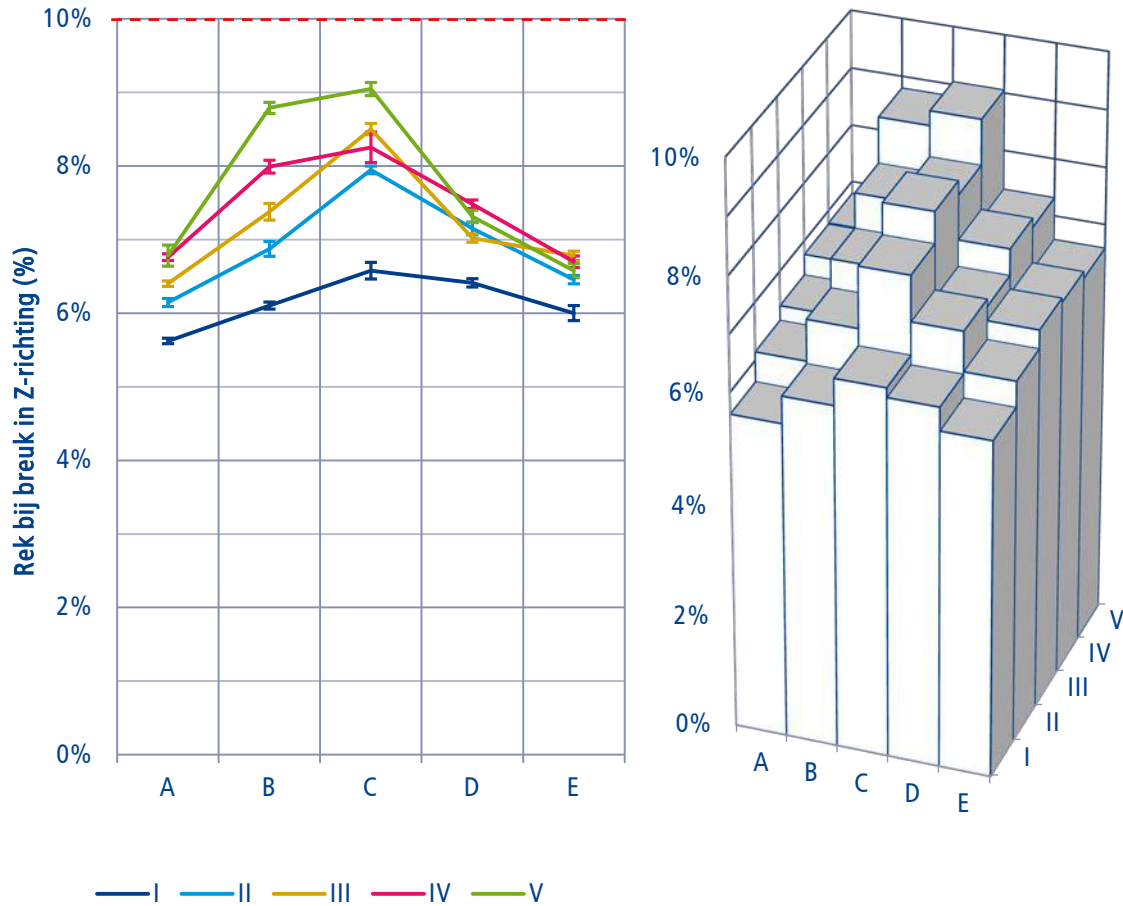


Figuur 4: Maximale treksterkte in de Z-richting op verschillende posities van het XY-vlak van de printer. Links: 2D-weergave. De stippellijn markeert de door EOS opgegeven waarde van de treksterkte in de Z-richting, 50MPa. De afgebeelde spreiding is de standaarddeviatie (1x boven, 1x onder). Rechts: 3D-weergave van de data, waarbij zone A1 de linksvoor op het printoppervlak is.

Als eerst blijkt dat de treksterkte afhankelijk is van de positie op het XY-vlak. Hierbij valt op dat de zones in het midden en achterin het bouwvolume de beste treksterkte hebben. De voorzijde van het bouwvolume heeft een beduidend lagere treksterkte heeft dan de andere zones. De spreiding van de zones in rij 1 is ook groter. De linker- en rechter zijde van het bouwvolume (kolom A en E) hebben ook een lagere sterkte, hoewel deze verschillen kleiner zijn. De hele rij 1, zones A2, A3 en B2 hebben een lagere treksterkte dan op de material datasheet (bijlage 1). De andere zones hebben dezelfde of een hogere treksterkte dan opgegeven, en de waarden liggen dicht bij elkaar.

Bij de rek bij breuk (figuur 5) is te zien dat ook deze afhankelijk is van de XY-positie. In het midden en achterin is de hoogste rek bij breuk gemeten. In rij 1, kolom A en kolom E is de rek bij breuk het laagst.

Rek bij breuk, XY-positie

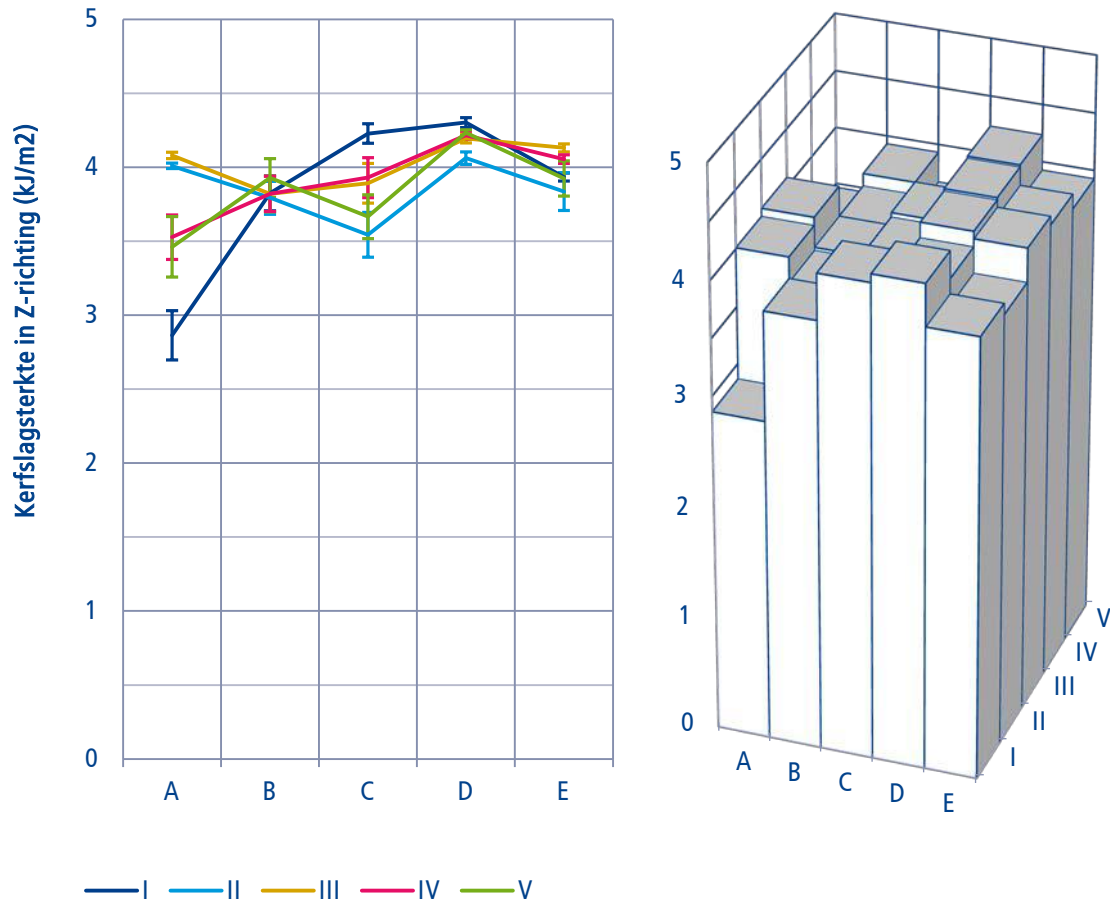


Figuur 5: Rek bij breuk in de Z-richting op verschillende posities van het XY-vlak van de printer. Links: 2D-weergave. De stippellijn markeert de door EOS opgegeven waarde van de rek bij breuk in de Z-richting, 10%. De afgebeelde spreiding is de standaarddeviatie (1x boven, 1x onder). Rechts: 3D-weergave van de data, waarbij zone A1 de linksvoor op het printoppervlak is.

Ook valt op dat geen van de zones de 10% haalt welke gespecificeerd is in de material datasheet. Dit kan zijn veroorzaakt door verschillen in de instellingen bij het testen, duur omstandigheden en duur van conditionering of parameters voor de verwerking, zoals de temperatuur van het printoppervlak en de instellingen van laser en scanner, ook wel exposure parameters genaamd.

Van de kerfslagsterkte (figuur 6) blijkt dat de verschillen van een orde grootte zijn waarbij de spreiding (1x standaarddeviatie) elkaar overlappen. Zone A1 heeft met enige marge de laagste kerfslagsterkte, wat ook het geval was bij treksterkte en rek bij breuk.

Kerfslagsterkte, XY-positie

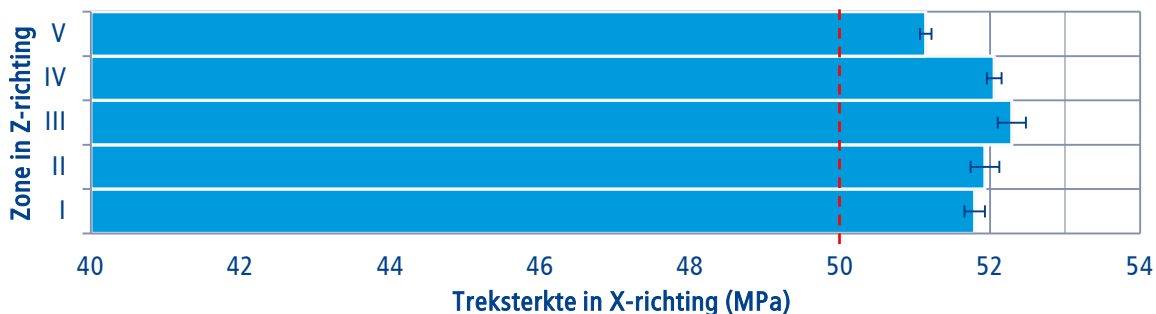


Figuur 6: Kerfslagsterkte in de Z-richting op verschillende posities van het XY-vlak van de printer. Links: 2D-weergave. De kerfslagsterkte in de Z-richting staat in datasheets van EOS niet gespecificeerd, dus is hiervan geen markering in de grafiek. De afgebeelde spreiding is de standaarddeviatie (1x boven, 1x onder). Rechts: 3D-weergave van de data, waarbij zone A1 de linksvoor op het printoppervlak is.

De waargenomen verschillen tussen zones zouden het resultaat kunnen zijn van een ongelijke temperatuur op het printoppervlak, waardoor het materiaal in sommige zones beter versmelt dan andere. Daarnaast is het mogelijk dat de dichtheid van het poederbed ongelijkmatig is over het printoppervlak. Tot slot zou de porositeit in sommige zones ook hoger kunnen zijn in sommige zones dan andere, mogelijk als resultaat van de mate van versmelting en/of de dichtheid van het poederbed.

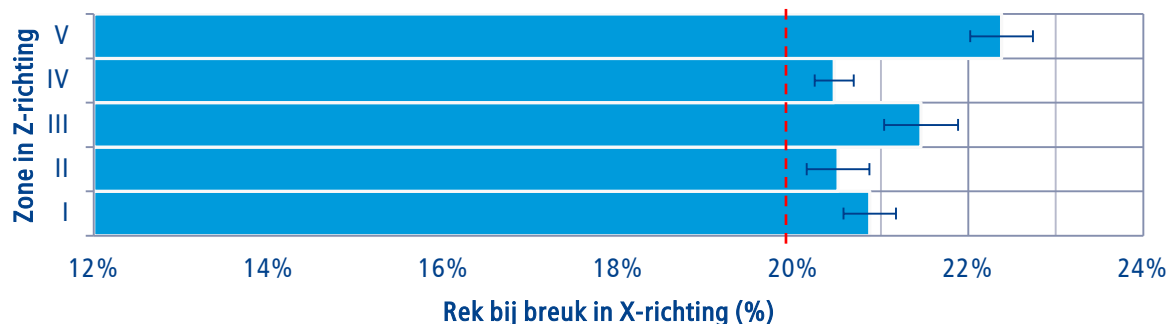
Bij de positie in de Z-richting, of 'Z-positie' zijn de verschillen in sterkte, rek bij breuk en kerfslagsterkte kleiner dan tussen de zones in het XY-vlak. Ook overlapt de spreiding van de meeste zones elkaar.

Treksterkte, Z-positie



Figuur 7: Maximale treksterkte in de X-richting op verschillende posities in de Z-richting van de printer. De stippellijn markeert de door EOS opgegeven waarde van de treksterkte in de X-richting, 50MPa. De afgebeelde spreiding is de standaarddeviatie (1x boven, 1x onder).

Rek bij breuk, Z-positie



Figuur 8: Rek bij breuk in de X-richting op verschillende posities in de Z-richting van de printer. De stippellijn markeert de door EOS opgegeven waarde van de rek bij breuk in de X-richting, 20%. De afgebeelde spreiding is de standaarddeviatie (1x boven, 1x onder).

Kerfslagsterkte, Z-positie



Figuur 9: Kerfslagsterkte in de X-richting op verschillende posities in de Z-richting van de printer. De stippellijn markeert de door EOS opgegeven waarde van de kerfslagsterkte in de X-richting, 4,8kJ/m2. De afgebeelde spreiding is de standaarddeviatie (1x boven, 1x onder).

De treksterkte en rek bij breuk zijn in alle zones hoger dan opgegeven in de material datasheet. De kerfslagsterkte haalt daarentegen in geen van de 5 zones de waarde welke staat opgegeven. Net als in de 'XY-positie' proef geldt ook hier dat er verschillen zouden kunnen zijn in verwerking, conditionering en/of de uitvoering van de proeven, waardoor de uitkomsten in het onderzoek anders uitvallen. In ieder geval zijn de resultaten in de grote lijnen overeenkomstig.

Conclusies & Aanbevelingen

In de grotere lijnen zijn de resultaten goed vergelijkbaar met de material datasheet, en in ieder geval geschikt voor een onderlinge vergelijking van de mechanische eigenschappen in verschillende posities in het bouwvolume.

Bij vergelijking is gebleken dat zowel in treksterkte, rek bij breuk en kerfslagsterkte beduidende verschillen zijn gemeten tussen proefstukken die op verschillende XY-posities zijn geproduceerd. Hierbij worden de hoogste treksterkte en rek bij breuk gehaald in het midden en de achterzijde van het bouwvolume. Bij de kerfslagsterkte is geen duidelijke tendens zichtbaar en zijn bij veel zones de verschillen kleiner dan de standaarddeviatie. Zowel de treksterkte, rek bij breuk en kerfslagsterkte zijn het laagst linksvoor in het bouwvolume.

De mechanische eigenschappen van verschillende Z-posities kennen minder spreiding dan in verschillende XY-posities. De hoogste treksterkte is gemeten in het midden van het bouwvolume en de laagste boven- en onderin het bouwvolume. Bij de rek bij breuk en kerfslagsterkte is geen tendens waargenomen.

Op basis van het onderzoek is te zien dat er rekening gehouden dient te worden bij de plaatsing in het XY-vlak. De plaatsing in de Z-positie levert kleine verschillen op. Beter inzicht in de achterliggende oorzaken voor de verschillen in mechanische eigenschappen is gewenst. Vervolgonderzoek in dit onderwerp zou dan ook interessant kunnen zijn.

Bijlage A – Material Datasheet EOS PA2200



PA 2200 Performance 1.0

PA12

EOS GmbH - Electro Optical Systems

Product Texts

Product Texts

This whitish fine powder PA 2200 on the basis of polyamide 12 serves with its very well-balanced property profile a wide variety of applications. Laser-sintered parts made from PA 2200 possess excellent material properties:

- high strength and stiffness
- good chemical resistance
- excellent long-term constant behaviour
- high selectivity and detail resolution
- various finishing possibilities (e.g. metallisation, stove enamelling, vibratory grinding, tub colouring, bonding, powder coating, flocking)
- bio compatible according to EN ISO 10993-1 and USP/level VI/121 °C
- approved for food contact in compliance with the EU Plastics Directive 2002/72/EC (exception: high alcoholic foodstuff)

Typical applications of the material are fully functional plastic parts of highest quality. Due to the excellent mechanical properties the material is often used to substitute typical injection moulding plastics. The biocompatibility allows its use e.g. for prostheses, the high abrasion resistance allows e.g. the realisation of movable part connections.

100 µm layer thickness

Performance is the parameter set of choice for parts with high demands on mechanical properties and fracture behaviour, especially when the part is going to be subjected to multiaxial loading in all three directions. Performance parts are characterized by the highest degree of isotropic strength and rigidity. The choice of 100 µm layer thickness results in fine resolution and also very high surface quality and detail resolution.

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Izod Impact notched (23°C)	4.4	kJ/m ²	ISO 180/1A
Shore D hardness (15s)	75	-	ISO 7619-1

3D Data	Value	Unit	Test Standard
The properties of parts manufactured using additive manufacturing technology (e.g. laser sintering, stereolithography, Fused Deposition Modelling, 3D printing) are, due to their layer-by-layer production, to some extent direction dependent. This has to be considered when designing the part and defining the build orientation.			
Tensile Modulus			ISO 527-1/-2
X Direction	1700	MPa	
Y Direction	1700	MPa	
Z Direction	1700	MPa	
Tensile Strength			ISO 527-1/-2
X Direction	50	MPa	
Y Direction	50	MPa	
Z Direction	50	MPa	
Strain at break			ISO 527-1/-2
X Direction	20	%	
Y Direction	20	%	
Z Direction	10	%	
Charpy impact strength (+23°C, X Direction)	53	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C, X Direction)	4.8	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Flexural Modulus (23°C, X Direction)	1500	MPa	ISO 178

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (20°C/min)	176	°C	ISO 11357-1/-3
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	163	°C	ISO 306

Other properties	Value	Unit	Test Standard
Density (laser-sintered)	930	kg/m ³	EOS Method
Powder colour (ac. to safety data sheet)	White	-	-

Last change: 2010-03-21 Source: www.materialdatacenter.com

Page: 1/2

The data correspond to our knowledge and experience at the time of publication. They do not on their own represent a sufficient basis for any part design, neither do they provide any agreement about or guarantee the specific properties of a product or part or the suitability of a product or part for a specific application. It is the responsibility of the producer or customer of a part to check its properties as well as its suitability for a particular purpose. This also applies regarding the consideration of possible intellectual property rights as well as laws and regulations. The data are subject to change without notice as part of EOS' continuous development and improvement processes.

7. MOBA – Onderdelen voor eiersortermachines

[Onderzoek naar de effecten van omgevingsinvloeden op de lange-duur eigenschappen van SLS geprint ten opzichte van gespuitsgiet PA12](#)



Partner:

MOBA

Bedrijfstak:

Eiersortermachines

Locatie:

Barneveld

Betrokken bij project:

Wybren Jouwsma, Paul Dijkstra en Ghassan Radha

MOBA is de wereldwijde marktleider van machines voor het sorteren, verpakken en verwerken van eieren. De omvang van pluimveehouderijen is zeer uiteenlopend. De grotere machines hebben een productiecapaciteit van enkele honderdduizenden eieren per uur per machine.

Echter, niet alleen is de productie van eieren grootschalig, deze is ook doorlopend. De industrie heeft daarom belang bij machines met lange levensduur en minimale downtime. Onderdelen moeten dus niet alleen betrouwbaar zijn, maar ook wereldwijd snel geleverd en vervangen kunnen worden. Veel onderdelen in de machine zijn gemaakt van (gespuitsgiet) kunststof. Van onderdelen in kleinere oplagen en van verouderde machines brengt dit voor MOBA een grote onderdelenvoorraad en aanzienlijke opslag- en onderhoudskosten voor de matrijzen met zich mee.

De flexibiliteit van Additive Manufacturing (AM) zou voor zowel spare parts als productie van kleinere oplagen uitkomst kunnen bieden. Uit vooronderzoek is gebleken dat Selective Laser Sintering (SLS) met Polyamide 12 (PA12) mogelijk geschikt is. De methode biedt veel vormvrijheid, goede nauwkeurigheid en veel mechanische eigenschappen zijn vergelijkbaar met gespuitsgiet PA12. Tot slot zijn de mechanische eigenschappen weinig afhankelijk van de richting waarin het materiaal wordt belast, terwijl dit bij veel AM technieken en materialen een beperking vormt.

Hoewel er over eigenschappen vlak na productie bekend is, zijn er maar weinig onderzoeken uitgevoerd om de eigenschappen van het materiaal op lange termijn te beoordelen. De informatie uit literatuur is dan ook ontoereikend voor MOBA om in te schatten of SLS geprint PA12 geschikt zou kunnen zijn als productiemethode van onderdelen in kleine oplagen.

Doel

De onderdelen in MOBA's machines worden blootgesteld aan verscheidene omgevingsinvloeden, zoals UV-licht, chemicaliën en vocht. Het doel is dan ook te onderzoeken welk effect dergelijke invloeden hebben op de mechanische eigenschappen van SLS geprint PA12.

Opzet proeven

Omdat MOBA al PA12 gebruikt voor sommige gespuitsgiete onderdelen, is er voor gekozen een vergelijking te maken tussen de mechanische eigenschappen van gespuitsgiet PA12 en SLS geprint PA12. De SLS-geprinte proefstukken zijn geproduceerd uit 'EOS PA2200' op een EOS Formiga P100 machine. De gespuitsgiete proefstukken zijn geproduceerd uit 'Arkema Rilsamid AMNO TLD' op een Wittmann-Battenfeld SmartPower 60/210 machine.

Voor het nabootsen van de bedrijfsomstandigheden in gebruik is besloten elke omstandigheid afzonderlijk te testen. In tabel 1 staat weergegeven welke bedrijfsomstandigheden zijn nagebootst.

Praktijksituatie	Omschrijving	Blootstelling	Blootstellings- duur [u]	Temperatuur [°C]	Relatieve Luchtvochtigheid (RH) [%]
Desinfectie eieren (15000 machine-uren)	UV-C straling (vanaf één zijde)	253,7nm, 57μW/cm ²	104	19	54
Reiniging machine	Sumabac D10	10% in water	48	23	Onderdompeling
Reiniging machine	P3-TR	10% in water	48	23	Onderdompeling
	Veroudering warm		168	50	90
	Veroudering koud		168	-10	68
	Referentieproef		120	23	50

Tabel 1: Specificatie van de nagebootste bedrijfsomstandigheden. Sumabac D10 en P3-TR zijn industriële schoonmaakmiddelen, welke verdund worden gebruikt.

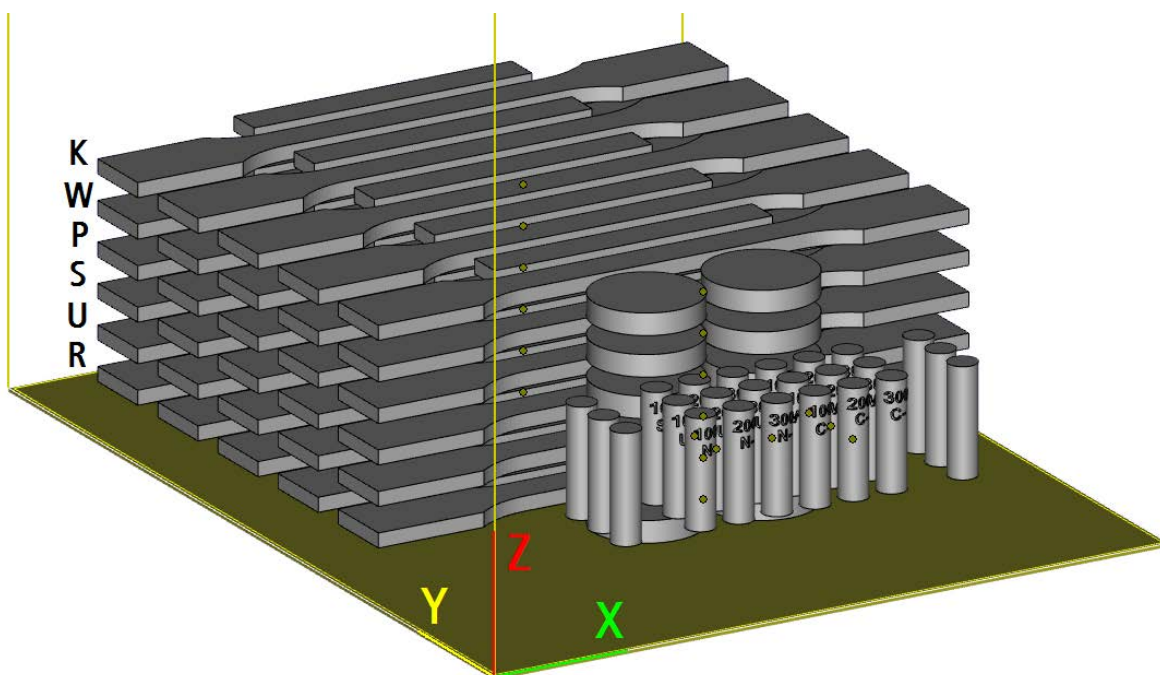
Na elke bedrijfsomstandigheid zijn de proefstukken nog 5 dagen / 120 uur geconditioneerd bij 23°C/50%rH; hetzelfde als de referentiemeting. De mechanische eigenschappen en proeven welke zijn getest zijn weergegeven in tabel 2.

Materiaaleigenschap	Type proef	Type proefstuk	Notities
Maximale treksterkte (MPa)	Trekproef	ISO 527-2/1A	Testsnelheid 50mm/min.
Rek bij breuk (%)	Trekproef	ISO 527-2/1A	Testsnelheid 50mm/min.
Charpy impactsterkte (kJ/m ²)	Kerfslagproef	ISO 179-1/1eA*	Test uitgevoerd met 2J hamer

Tabel 2: Beknopte specificatie van materiaaleigenschappen en proeven welke in kader van het onderzoek zijn uitgevoerd.

*De proefstukken voor de kerfslagproeven zijn conform de afmetingen uit de benoemde norm, maar zijn niet geproduceerd in een daartoe bestemde matrijs. In plaats daarvan zijn trekstaven geproduceerd, waaruit het middelste gedeelte is geknipt om te gebruiken als kerfslagstaaf.

Voor zowel de trekproef als de kerfslagproef zijn 5 proefstukken per bedrijfsomstandigheid getest. Per productietechniek zijn de proefstukken binnen dezelfde productierun geproduceerd. Bij de geprinte proefstukken is uitgegaan van een oriëntatie in de X-richting en geplaatst in de indeling weergegeven in figuur 1. De gespuitsgiete proefstukken zijn willekeurig verdeeld/toegewezen over de verschillende proeven.

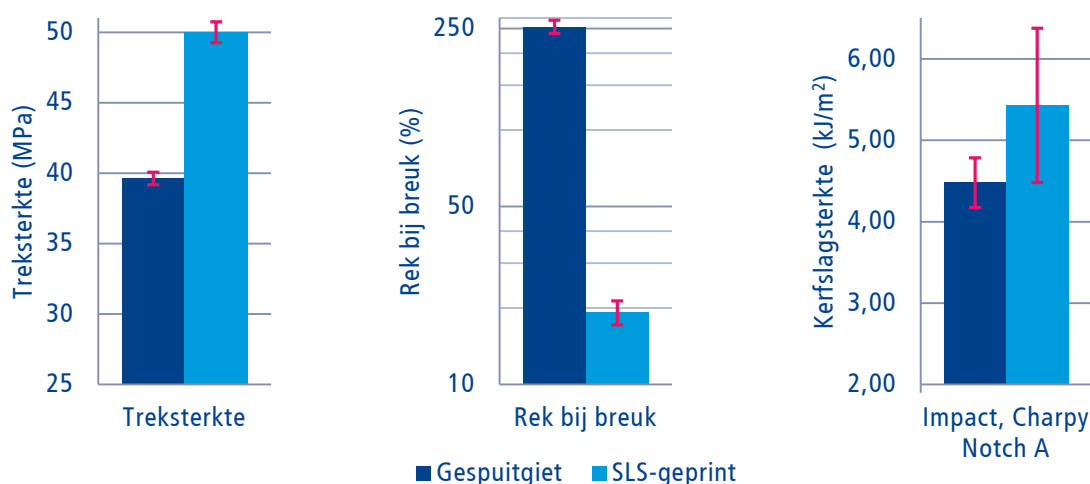


Figuur 1: De indeling en oriëntatie van de SLS-proefstukken. De trek- en impactstaafjes zijn georiënteerd in de X-richting. De proefstukken zijn per 'laag' toegewezen aan verschillende bedrijfsomstandigheden: R = Referentie, U = UV-straling, S = Sumabac, P = P3-TR, W = Warm+vochtig, K = Koud.

Resultaten

Als eerste is de referentieproef (figuur 2) geanalyseerd. Zowel de treksterkte, rek bij breuk als kerfslagsterkte verschillen aanzienlijk tussen de gespuitsgiete en geprinte proefstukken. Echter, de gemiddelden komen goed overeen met de gegevens uit de datasheets van de fabrikant (Bijlage A en B), met uitzondering van de kerfslagsterkte van het gespuitsgiete materiaal; deze valt significant lager uit ($4,5 \text{ kJ/m}^2$ in plaats van 9 kJ/m^2).

Referentieproef



Figuur 2: Resultaten van de referentieproef. De afgebeelde spreiding is de standaarddeviatie (1x boven, 1x onder).

De laag uitgevallen kerfslagsterkte zou resultaat kunnen zijn van andere instellingen bij verwerking en het gebruik van een matrices voor trekstaven. Er zijn geen aanwijzingen dat het materiaal tijdens verwerking is gedegradeerd. Omdat de gespuitsgiete proefstukken in één reeks met dezelfde instellingen zijn verwerkt zal de lagere kerfslagsterkte geen problemen vormen voor het vergelijken van de verschillende proeven.

Uit de referentieproeven blijken aanzienlijke verschillen tussen de SLS- en spuitgietgrade. Vooral het verschil in rek bij breuk valt hierbij op. Aan de geprinte proefstukken is terug te zien dat deze zijn gebroken kort na het vormen van een insnoering, terwijl bij de gespuitsgiete proefstukken deze insnoering is blijven groeien tot aan de haltervormige uiteinden alvorens te breken (figuur 3).



Figuur 3: Het verschil in oprekking tot breuk tussen de SLS-geprinte en gespuitsgiete proefstukken. Boven: Overzicht van de hele proefstukken. Onder: Detail van de insnoeringen waar de proefstukken zijn gebroken.

Een mogelijke verklaring voor het verschil is dat waar spuitgieten een massief proefstuk met een glad oppervlak oplevert, het SLS geprint materiaal poriën bevat (enkele volumeprocenten). Ook het buitenoppervlak bestaat uit deeltjes welke niet tot een glad oppervlak versmolten zijn. Dit zou kunnen leiden tot spanningsconcentraties die resulteren in een vroegtijdige breuk. De ruwheid en porositeit ter hoogte van de kerf zou ook kunnen verklaren waarom de spreiding van de kerfslagsterkte voor het SLS-geprinte materiaal aanzienlijk groter is dan van het gespuitsgiete materiaal.

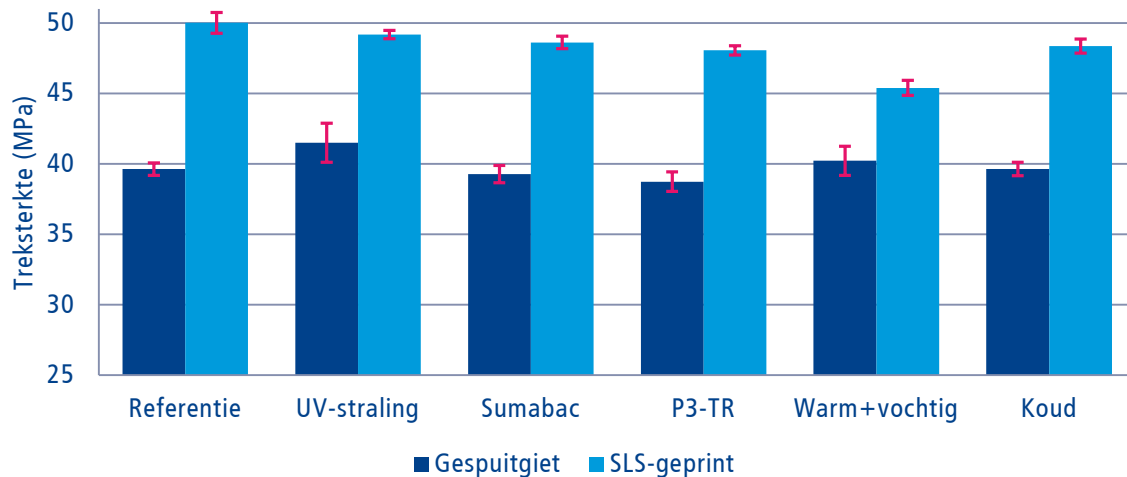
Een andere theorie is dat tijdens het printproces de polymeerketens uit verschillende poederdeeltjes minder verknopingen kunnen vormen dan bij een spuitgietmateriaal doordat het materiaal zich korter en mogelijk minder ver boven het smeltpunt bevindt.

In ieder geval is bekend dat bij spuitgieten de polymeerketens zich oriënteren in de stromingsrichting (in de lengterichting van de trekstaaf) door het geforceerde, snelle transport van de smelt. Bij SLS-printen is dergelijke oriëntatie afwezig. Daarnaast zou de lange verblijftijd bij hoge temperatuur van de SLS-geprinte proefstukken ook kunnen leiden tot een hogere kristalliniteit dan het spuitgietmateriaal, wat ook een weerslag zou hebben op de mechanische eigenschappen.

Tot slot verschilt niet alleen de verwerkingstechniek; er is ook getest met twee verschillende 'grades' PA12. Mogelijk verschilt dus de samenstelling; denk hierbij aan kleurstoffen, stabilisatoren, kiemvormers voor kristallisatie of andere additieven. Ook aspecten als polymerisatiegraad (ketenlengte), polydispersiteit en eindgroepen zouden kunnen verschillen.

Voor de lange-duurs eigenschappen van beide materialen blijkt bij alle omstandigheden dat de invloed op treksterkte (figuur 4) minder dan 10% is van de treksterkte uit de referentieproef. In veel gevallen zijn de verschillen zelfs kleiner dan de spreiding.

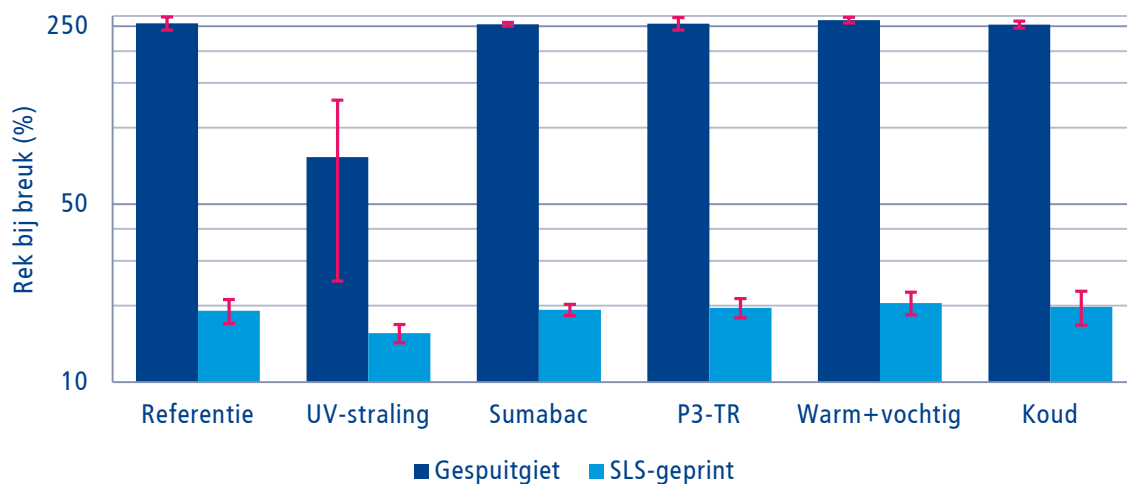
Maximale treksterkte (MPa)



Figuur 4: Maximale treksterkte van beide reeksen PA12 proefstukken onder invloed van verschillende omstandigheden. De afgebeelde spreiding is de standaarddeviatie (1x boven, 1x onder).

Uit de rek bij breuk (figuur 5) blijkt echter wel een duidelijk verschil, specifiek voor de omstandigheden met UV-straling. Hierbij daalt de rek bij breuk voor de SLS-geprinte proefstukken van 19,1% naar 15,6%; van het gespuitsgiete materiaal daalt deze echter van 257,0% naar 76,6%. De daling van de spuitgietgrade is proportioneel gezien groter, en lijdt mogelijk sterker onder de invloed van het gebruikte UV-licht. Echter kan ook worden beargumenteerd dat de lagere rek bij breuk van het SLS-materiaal uit de referentieproef (als gevolg van porositeit) de invloed van het UV-licht op het materiaal maskeert.

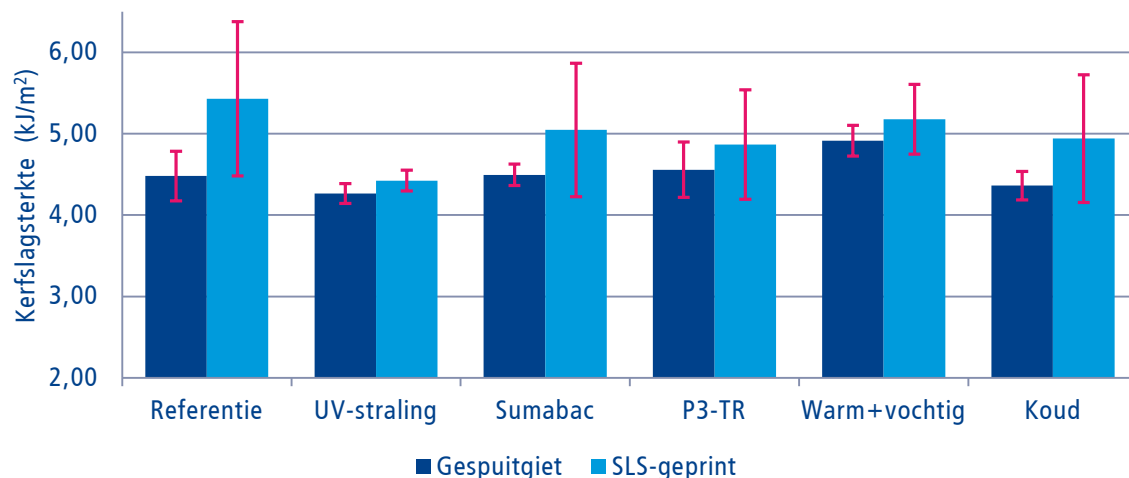
Rek bij breuk (%)



Figuur 5: Rek bij breuk van beide reeksen PA12 proefstukken onder invloed van verschillende omstandigheden. De afgebeelde spreiding is de standaarddeviatie (1x boven, 1x onder). Let op: de weergave is op logaritmische schaal.

Bij kerfslagsterkte (figuur 6) is het grootste verschil gemeten na blootstelling aan UV-licht. Dit gaat gepaard met de kleinste spreiding van alle kerfslagproeven, en is van toepassing op zowel de SLS-geprinte als gespuitsgiete proefstukken. Opvallend is dat de gemeten daling in kerfslagsterkte groter is voor het SLS-geprinte materiaal dan het gespuitsgiete materiaal.

Kerfslagsterkte, Charpy Notch A (kJ/m²)



Figuur 6: Kerfslagsterkte van beide reeksen PA12 proefstukken onder invloed van verschillende omstandigheden. De afgebeelde spreiding is de standaarddeviatie (1x boven, 1x onder).

De daling in kerfslagsterkte en rek bij breuk geven het beeld dat UV-licht beide grades PA12 degradeert en een significante invloed heeft op de mechanische eigenschappen, terwijl de andere omgevingsinvloeden een matige tot verwaarloosbare invloed hebben op de mechanische eigenschappen over langere duur.

Conclusies & Aanbevelingen

De mechanische eigenschappen van het SLS-geprinte PA12 zijn anders zijn dan het gespuitsgiete PA12; vooral de rek bij breuk is lager. Wél zijn de eigenschappen van beide materialen uit de referentieproef (geen bedrijfsomstandigheden) in het algemeen in goede overeenstemming met de datasheets. Beide materialen worden door de bedrijfsomstandigheden op vergelijkbare wijze beïnvloed. Hierbij heeft UV-licht voor beide materialen de sterkste invloed, waarbij de rek bij breuk en kerfslagsterkte dalen, terwijl de treksterkte weinig verandert.

Voor MOBA is het aanmoedigend dat de materialen in goede overeenstemming zijn met de datasheets en de invloed van de bedrijfsomstandigheden op beide grades vergelijkbaar is. Toepassen van SLS-geprint PA12 lijkt vanuit dat opzicht dan ook goed haalbaar.

De implicaties van de lagere rek bij breuk op de prestaties in onderdelen is uit de resultaten nog niet duidelijk, nader onderzoek op specifieke onderdelen of producten zou hier inzicht in kunnen bieden. Ook zou vergelijking met gangbare engineering plastics als PA6, POM en PBT interessant kunnen zijn en inzicht geven in welke toepassingen SLS-geprint PA12 mogelijk ook producten uit deze materialen kan vervangen.

Bijlage A – Material Datasheet EOS PA2200



PA 2200 Performance 1.0

PA12

EOS GmbH - Electro Optical Systems

Product Texts

Product Texts

This whitish fine powder PA 2200 on the basis of polyamide 12 serves with its very well-balanced property profile a wide variety of applications. Laser-sintered parts made from PA 2200 possess excellent material properties:

- high strength and stiffness
- good chemical resistance
- excellent long-term constant behaviour
- high selectivity and detail resolution
- various finishing possibilities (e.g. metallisation, stove enamelling, vibratory grinding, tub colouring, bonding, powder coating, flocking)
- bio compatible according to EN ISO 10993-1 and USP/level VI/121 °C
- approved for food contact in compliance with the EU Plastics Directive 2002/72/EC (exception: high alcoholic foodstuff)

Typical applications of the material are fully functional plastic parts of highest quality. Due to the excellent mechanical properties the material is often used to substitute typical injection moulding plastics. The biocompatibility allows its use e.g. for prostheses, the high abrasion resistance allows e.g. the realisation of movable part connections.

100 µm layer thickness

Performance is the parameter set of choice for parts with high demands on mechanical properties and fracture behaviour, especially when the part is going to be subjected to multiaxial loading in all three directions. Performance parts are characterized by the highest degree of isotropic strength and rigidity. The choice of 100 µm layer thickness results in fine resolution and also very high surface quality and detail resolution.

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Izod Impact notched (23°C)	4.4	kJ/m ²	ISO 180/1A
Shore D hardness (15s)	75	-	ISO 7619-1

3D Data	Value	Unit	Test Standard
The properties of parts manufactured using additive manufacturing technology (e.g. laser sintering, stereolithography, Fused Deposition Modelling, 3D printing) are, due to their layer-by-layer production, to some extent direction dependent. This has to be considered when designing the part and defining the build orientation.			
Tensile Modulus			ISO 527-1/-2
X Direction	1700	MPa	
Y Direction	1700	MPa	
Z Direction	1700	MPa	
Tensile Strength			ISO 527-1/-2
X Direction	50	MPa	
Y Direction	50	MPa	
Z Direction	50	MPa	
Strain at break			ISO 527-1/-2
X Direction	20	%	
Y Direction	20	%	
Z Direction	10	%	
Charpy impact strength (+23°C, X Direction)	53	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C, X Direction)	4.8	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Flexural Modulus (23°C, X Direction)	1500	MPa	ISO 178

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (20°C/min)	176	°C	ISO 11357-1/-3
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	163	°C	ISO 306

Other properties	Value	Unit	Test Standard
Density (laser sintered)	930	kg/m ³	EOS Method
Powder colour (ac. to safety data sheet)	White	-	-

Last change: 2010-03-21 Source: www.materialdatacenter.com

Page: 1/2

The data correspond to our knowledge and experience at the time of publication. They do not on their own represent a sufficient basis for any part design, neither do they provide any agreement about or guarantee the specific properties of a product or part or the suitability of a product or part for a specific application. It is the responsibility of the producer or customer of a part to check its properties as well as its suitability for a particular purpose. This also applies regarding the consideration of possible intellectual property rights as well as laws and regulations. The data are subject to change without notice as part of EOS' continuous development and improvement processes.

Bijlage B – Material Datasheet Arkema Rilsamid AMNO TLD



Rilsamid® AMNO TLD

PA12

Rilsamid® AMNO TLD (PA12, MHLR, 12-010) resin

Rilsamid® AMNO TLD resin is a natural polyamide. This grade is designed for injection molding.

Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melt volumeflow rate, MVR	57 / *	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	235 / *	°C	-
Load	2.16 / *	kg	-
Molding shrinkage, parallel	0.8 / *	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	0.8 / *	%	ISO 294-4, 2577

Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	1450 / 1170	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	42 / 38	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	7 / 7	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	>50 / >50	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength, +23°C	- / N	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30°C	- / N	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23°C	- / 9	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	- / 5	kJ/m ²	ISO 179/1eA

Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	178 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	55 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	135 / *	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50°C/h 50N	142 / *	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	130 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	120 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.6 / *	mm	-
Burning Behav. at thickness h	V-2 / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	3.2 / *	mm	-
Oxygen index	22 / *	%	ISO 4589-1/-2

Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 100Hz	4 / -	-	IEC 60250
Relative permittivity, 1MHz	3 / -	-	IEC 60250
Dissipation factor, 100Hz	779 / -	E-4	IEC 60250

Last Change: 20170721

Disclaimer: Please consult Arkema's disclaimer regarding the use of Arkema's products on <http://www.arkema.com/en/products/productsafety/disclaimer/index.html>

Page: 1/3

8. Conclusies en aanbevelingen

In veel werktuigbouwkundige toepassingen is het niet de beste oplossing om alles uit slechts een materiaal te maken en zal vaak een hybride oplossing de beste resultaten geven.

Onze observatie is dat voor een succesvol hybride product (combinatie van kunststof en een ander materiaal (metaal)) vanuit een pakket van eisen gekeken moet worden naar alle drie aspecten van een product: ontwerp, productie en materiaal. Verbindingen van deze verschillende materialen spelen een grote rol of een hybride product succesvol kan zijn of niet. Een tool om een eerste selectie te maken kan hierbij nuttig zijn. Mocht het product haalbaar zijn dan kan vervolgens de verbinding tot in detail worden bepaald.

Het 3D printen is een interessante productiemethode voor de machinebouw met veel potentie. Met name bij kleinere seriegroottes en de spare parts. De levensduur van deze geprinte onderdelen moeten dan wel betrouwbaar en voorspelbaar zijn. Tijdens dit onderzoek blijken de mechanische eigenschappen van het geprinte 3D materiaal PA12 grotendeels overeen te komen met de gespuitsgiete PA12 materialen. De rek bij breuk is echter lager. Voor een vervolg onderzoek zouden wij graag voor beide productiemethoden dezelfde grades van PA 12 onderzoeken.

Als de doorlooptijd van het ontwerpproces en de engineering verkort kan worden leidt dit tot een snellere, time to market van de machine. Het uitontwikkelen van nieuwe onderdelen/componenten nemen hier veel tijd in beslag. Met name omdat de machinebouwer de risico's laag wil houden en de betrouwbaarheid dus wil testen. Een optie zou dan kunnen zijn om eerst een 3D geprint onderdeel in de machine te plaatsen en later dit onderdeel definitief te maken als onderdeel betrouwbaar blijkt te zijn. Dan zou het onderdeel (bij grotere aantallen) bijv. gespuitsgiet kunnen worden en de matrijs ontwikkeld kunnen worden.

Contactgegevens Projectpartners

MOBA

Stationsweg 117
3770 AA Barneveld
T: 0342-455331
E: info@moba.nl
I: www.moba.net

Hessels Zeefbanden

Halteweg 10
9677 RH Heiligerlee
T: 0597-431363
E: sales@hesselszeefbanden.nl
I: www.hesselszeefbanden.nl

DGS

Bouwstraat 4
7483 PA Haaksbergen
T: 085-7731833
E: info@dgs-ps.nl
I: www.dgs-ps.nl

ICO

Randweg 22
8304 AS Emmeloord
T: 0527-690874
E: info@ico-innovaties.nl
I: www.ico-innovaties.nl

Flamco

Amersfoortseweg 9
3751 LJ Bunschoten
T: 0527-690874
E: info@flamcogroup.nl
I: www.flamcogroup.com

Contactgegevens Lectoraat Kunststoftechnologie

Lectoraat Kunststoftechnologie
Campus 2-6
8000 GB Zwolle
T: 088-4699700
E: kunststoftechnologie@windesheim.nl
I: www.windesheim.nl/kunststoftechnologie

Contactpersonen:

Margie Topp
Lector
T: 088-4697203
E: m.topp@windesheim.nl

Freek Noordhuis
Docent/Onderzoeker
T: 088-4697782
E: f.noordhuis@windesheim.nl

Jasper Bouwmeester
Docent/Onderzoeker
T: 088-4699753
E: j.g.h.bouwmeester@windesheim.nl

Paul Dijkstra
Junior Onderzoeker
T: 088-4699504
E: p.dijkstra@windesheim.nl

Bert-Jan Roeterdink
Docent/ Onderzoeker
T: 088-4698198
E: a.j.roeterdink@windesheim.nl

Ghassan Radha
Docent/Onderzoeker
T: 088-4696442
E: g.radha@windesheim.nl

Lectoraat Kunststoftechnologie

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

Deze publicatie belicht een reeks onderzoeken welke zich verdiepen in de mogelijkheden voor het toepassen van kunststoffen in de machinebouw. Thema's die in de onderzoeken naar voren komen zijn gewichtsbesparing, corrosie- en slijtagebestendigheid, levensduur en vervaardiging via Additive Manufacturing (AM).

