

Procesverslag

Additive manufacturing in een spuitgietmatrijs

Tom Meerman

Mirror Controls international

Bedrijfsbegeleider: Peter van den Bosch

Tom Meerman

21-12-2016

Woerden

Voorwoord

Dit verslag over het onderzoek naar de toepassing van additive manufacturing in spuitgietmatrijzen is geschreven in het kader van mijn afstudeeropdracht aan de Haagse Hogeschool. Deze opdracht is de afsluiting van mijn duale opleiding HBO werktuigbouwkunde.

Het onderwerp waarop de onderzoeksvraag van toepassing is, betreft productie-spuitgietmatrijzen. Deze matrijzen ontwerp ik op mijn duale leerbedrijf en tevens werkplek bij Mirror Controls international ofwel MCI. De hoofdvraag luid: Wat is de toepassing van 3D printen in een spuitgietmatrijs?

Om verwarring te voorkomen wil ik bij deze alvast aangeven dat het, het 3D printen van stalen onderdelen van de matrijs zelf betreft. Er wordt niet gekeken naar het printen van kunststof.

Dit rapport is bestemd voor docenten en studenten van technisch georiënteerde opleidingen en mensen uit de spuitgiet industrie.

Dit rapport is mede tot stand gekomen door de informatie die ik heb mogen verkrijgen van mijn collega's bij MCI, de docenten van de Haagse Hogeschool en de input op gebied van 3D printen van Christaan Alofs van Maakmij Bv. , waarvoor mijn dank.

Alle in dit verslag gebruikte productinformatie zijn eigendom van MCI Netherlands BV. en mogen zonder schriftelijke toestemming van bovengenoemde niet verspreid of gekopieerd worden.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting.....	5
Verklarende woordenlijst	6
Inleiding	7
1. Onderzoeksonderwerp.....	8
1.1. Probleemstelling.....	8
1.2. Onderzoeksvraag.....	9
2. Breedteonderzoek.....	10
2.1. Huidige situatie.....	10
2.2. Verschillende methodes 3D printen.....	13
2.2.1. Poederbedfusie (PBF)	14
2.2.2. Directed energy deposition (DED).....	15
2.2.3. Hybride printen	16
2.2.4. Overzicht.....	17
2.3. Eisen MCI	18
2.4. Toepassingen.....	19
2.4.1. Complexe geometrie	19
2.4.2. Aanpassen bestaande delen.....	21
2.4.3. Conforme koeling	22
2.5. Deelconclusie.....	23
3. Diepteonderzoek	25
3.1. Overleg deskundigen.....	25
3.2. Koelmodel.....	27
3.3. Vloeianalyse.....	29
3.3.1. Cyclustijd	29
3.3.2. Vervorming.....	30
3.4. Aanmaak.....	31
3.4.1. Werkvoorbereiding	31
3.4.2. Print basis	31
3.4.3. 3D printen.....	31
3.4.4. Nabewerking	32
3.5. Kosten & baten.....	32
4. Conclusie & aanbevelingen	33

Aanbeveling.....	34
5. Bibliografie.....	35
6. Bijlagen	37
Bijlage 1. Specificaties DED	38
Bijlage 2. CL50WS datasheet.....	39
Bijlage 3. 3D scan product.....	41
Bijlage 4. Vloeianalyse.....	42
Bijlage 5. Certificaat vloeianalyse cursus	55
Bijlage 6. Detailtekening “prefab block”	56
Bijlage 7. Offerte voor en nabewerking	57
Bijlage 8. Offerte 3D printen	58
Bijlage 9. Tweede offerte 3D printen.....	59
Bijlage 10. Opdeling hybride printen	60
Bijlage 11. Overzicht kosten.....	61

Samenvatting

De hoofdvraag van dit onderzoek is als volgt: Wat is de toepassing van 3D printen in een spuitgietmatrijs?

Om deze vraag te beantwoorden, dienen de volgende deelvragen beantwoord te worden:

- Welke delen zouden met 3D printen vervaardigd kunnen worden
 - Productvormende delen zijn een geschikte kandidaat om met 3D printen te vervaardigen. Dit vanwege de geringe grootte en de wens om de koeling zo uniform mogelijk langs de complexe productgeometrie aan te brengen.
 - Omdat matrijsplaten en kooldelen sneller en goedkoper zijn met huidige methodes zijn deze niet geschikt om te printen
- Welke methode is het beste toepasbaar voor matrijsdelen
 - Poederbedfusie is de gekozen methode voor matrijsdelen met conforme koeling. Met deze methode zijn kleine vormen¹ mogelijk. Verder heeft deze methode een hoge nauwkeurigheid en zijn de geprinte delen hardbaar tot 52 HRC.
- Welke eisen gelden er voor de te printen onderdelen en wordt hier aan voldaan
 - De opgestelde eisen zijn te vinden in hoofdstuk 2.3.
- Welke toepassingen bieden voordelen tegenover de huidige methodes
 - De toepassing met de meeste potentie is het printen van conforme koelkanalen in de productvormende delen van de matrijs.
- Hoe moet(en) deze toepassing(en) geïmplementeerd worden
 - De betreffende kern met productgeometrie wordt 3D geprint met inwendige conforme koelkanalen.
 - De toepassing van conforme koeling verkort de cyclustijd met 10 tot 60% afhankelijk van productgeometrie².
 - De toepassing van conforme koeling kan de vervorming tot 87% verminderen afhankelijk van productgeometrie.
 - Omdat de kanalen van conforme koeling een kleinere diameter hebben als de gebruikelijke geboorde kanalen is het noodzakelijk dat deze regelmatig gereinigd worden om verstoppingen te voorkomen.

Het antwoord op de hoofdvraag kan daarmee als volgt geformuleerd worden: De toepassing van 3D printen in een spuitgietmatrijs is het printen van productvormende delen met daarin conforme koelkanalen.

¹ Zie Tabel 1 Vergelijking tussen laser en elektronenstraal

² Naar aanleiding van eigen resultaten en uit (Moldex3D, 2015)

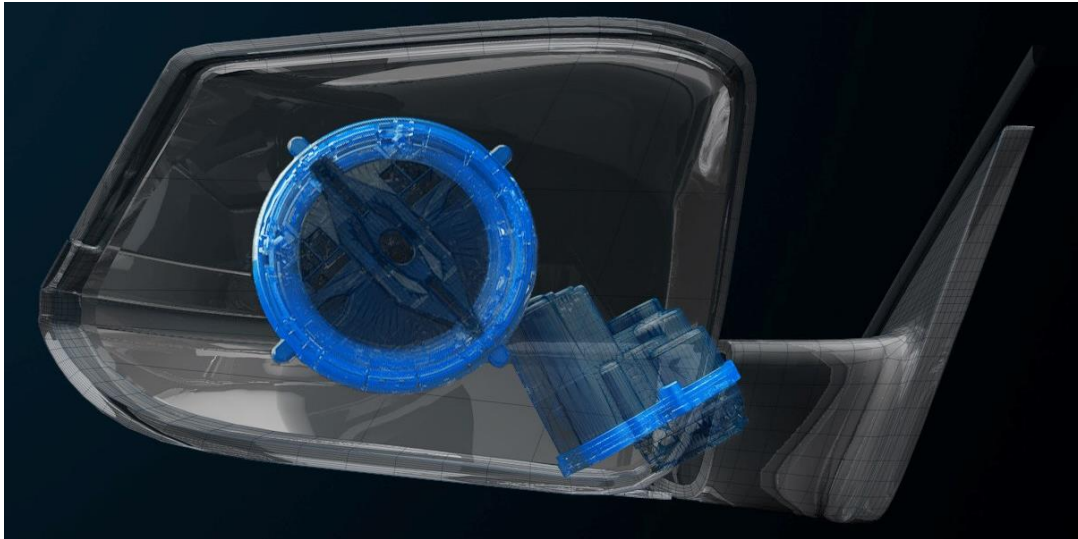
Verklarende woordenlijst

- CAD
 - Computer Aided Design. Vaak wordt hier een modelleerprogramma mee bedoeld
- Hothalf
 - Deel van de aanspuitspuitzijde van een matrijs. Hierin wordt de gesmolten kunststof, welke vanuit de spuitgietmachine wordt toegevoerd, op temperatuur gehouden en verdeeld over de verschillende holtes van de matrijs.
- Matrijs
 - Zie Spuitgietmatrijs.
- Molding
 - Engels voor spuitgieten en tevens de naam van de afdeling waarop het onderzoek is uitgevoerd.
- MPE
 - De afdeling Molding & Proces Engineering binnen MCI.
- Spuitgietmatrijs
 - Een vormholte waarin gesmolten kunststof onder hoge druk wordt geïnjecteerd. Na het stollen van de kunststof is er een negatief van de holte ontstaan: het product. Een matrijs is vaak opgebouwd uit meerdere stalen platen met daarin aan de ene zijde de holte en aan de andere zijde een kern die de binnenkant van het product vormt.
- Vonk eroderen
 - Het af nemen van materiaal door middel van de vonkoverslag tussen een electrode en het te bewerken materiaal. De twee meest toegepaste methoden voor vonkerosie zijn zinkvonken, waarbij de elektrode in het materiaal zakt en draadvonken, waarbij er een contour wordt uitgesneden met een draad als electrode.

Inleiding

Dit onderzoek is uitgevoerd bij Mirror Controls international, voortaan afgekort tot MCI. MCI ontwikkelt, produceert en assembleert spiegelactuatoren voor de automotive industrie. Deze actuatoren zijn te verdelen in twee categorieën: de powerfold en de glass actuator.

De powerfold heeft als functie het inklappen van de buitenspiegels terwijl de glass actuator het elektrisch verstellen van het spiegelglas mogelijk maakt.



Figuur 1 De twee productgroepen van MCI, weergegeven in de autospiegel (Mirror Controls International)

Het merendeel van de onderdelen voor deze actuatoren wordt geproduceerd op de eigen productielocaties. De spuitgietmatrijzen die hiervoor gebruikt worden zijn door MCI zelf ontworpen. De aanmaak van een matrijs wordt voor het merendeel uitgevoerd met materiaal verwijderende technieken zoals vonk eroderen, slijpen en frezen.

Het onderzoek komt voort uit de drang om bij te blijven met de nieuwe ontwikkelingen op het gebied van productiemethoden. Tijdens de lopende werkzaamheden en projecten is er geen tijd om nieuwe technieken te onderzoeken of te proberen. Omdat het afstuderen een project op zich is, is hier wel tijd voor.

1. Onderzoeksonderwerp

In dit hoofdstuk wordt beschreven waar het onderzoek precies op in gaat. De probleemstelling, hoofd en deelvragen zijn hier te vinden.

1.1. Probleemstelling

Het probleem is niet zozeer dat de matrijzen van MCI niet functioneren of niet maakbaar zijn. Er worden jaarlijks tientallen matrijzen ontworpen en aangemaakt, dus de huidige aanmaaktechnieken voldoen.

De huidige technieken hebben echter wel hun beperkingen wat resulteert in compromissen in het ontwerp en dus functioneren.

De probleemstelling concentreert zich niet op het vervangen van de huidige technieken maar op het vinden van een alternatief wanneer het huidige niet voldoet. Hierdoor zou het mogelijk moeten worden om bestaande productiemethoden te verbeteren. Dit zal resulteren in een beter aan te maken matrijs of een beter functionerende matrijs.

Omdat deze probleemstelling (te) breed is, zal er eerst een breedteonderzoek uitgevoerd worden. Hiermee kan richting worden gegeven aan het diepteonderzoek.

Om het onderzoek af te bakenen is besloten te focussen op een productvormend deel in de matrijs. Dat wil zeggen dat het onderdeel zich bevindt in de holte waar de kunststof geïnjecteerd wordt en productgeometrie bevat. Deze delen zijn vaak voorzien van interne koelkanalen.

1.2. Onderzoeksvraag

Wat is de toepassing van 3D printen in een spuitgietmatrijs?

Om deze vraag te beantwoorden dienen de volgende deelvragen beantwoord te worden:

- Welke delen zouden met 3D pinten vervaardigd kunnen worden
- Welke methode is het beste toepasbaar voor matrijسدelen
- Welke eisen gelden er voor de te printen onderdelen en wordt hier aan voldaan
- Welke toepassingen bieden voordelen tegenover de huidige methodes
- Hoe moet(en) deze toepassing(en) geïmplementeerd worden

Er zal eerst in het breedteonderzoek gekeken worden naar de huidige situatie, de verschillende methoden om staal 3D te printen en de eisen die MCI aan matrijسدelen stelt. De gestelde eisen zullen gesteld worden aan de hand van een gekozen matrijсdeel, welke als voorbeeld zal dienen om 3D printen mee te vergelijken.

Als deze gegevens bekend zijn, worden er drie toepassingen bekeken. De conclusie van het breedteonderzoek zal uitwijzen welke toepassing het meest levensvatbaar is.

Het diepteonderzoek zal vervolgens de uitwerking van de gekozen toepassing beschrijven. Hierin is er eerst overlegd met deskundigen. Met de informatie van de deskundigen en het breedteonderzoek is er een 3D model gemodelleerd. Op dit model is vervolgens een vloeianalyse uitgevoerd door een externe partij om de baten te verduidelijken. Om het model te realiseren is er een stuk werkvoorbereiding gedaan, hierbij zijn ook offertes aangevraagd om de kosten in beeld te brengen.

Uit de afweging tussen de kosten en baten zal de conclusie van het diepteonderzoek volgen. Deze wordt aangevuld met aanbevelingen voor de implementatie.

2. Breedteonderzoek

Omdat 3D printen een nog niet eerder toepaste fabricagemethode is, wordt er eerst gekeken naar de techniek hierachter. Hiermee kan worden afgebakend welke toepassingen er in het verdere onderzoek bestudeerd gaan worden. In dit hoofdstuk wordt het volgende behandeld:

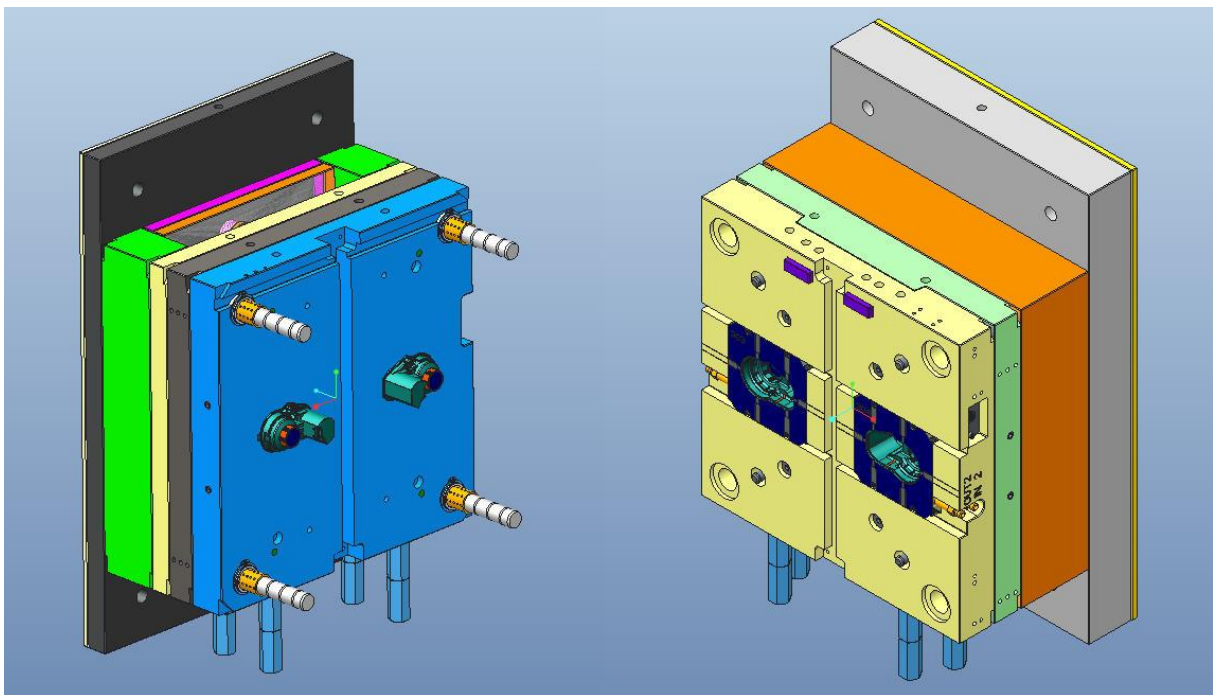
- Huidige situatie
- Bestudeerde printtechnieken
- Eisen die MCI aan matrijdsdelen stelt
- Potentiele toepassingen

2.1. Huidige situatie

Om het aanmaakt proces te doorgronden moet eerst duidelijk zijn hoe een matrijs is opgebouwd en hoe deze delen worden aangemaakt. Een matrijs is grofweg opgebouwd uit drie soorten delen.

Namelijk:

- Platen
- Productvormende delen
- Koopdelen



Figuur 2 CAD weergave van een matrijs (Meerman, 2016)

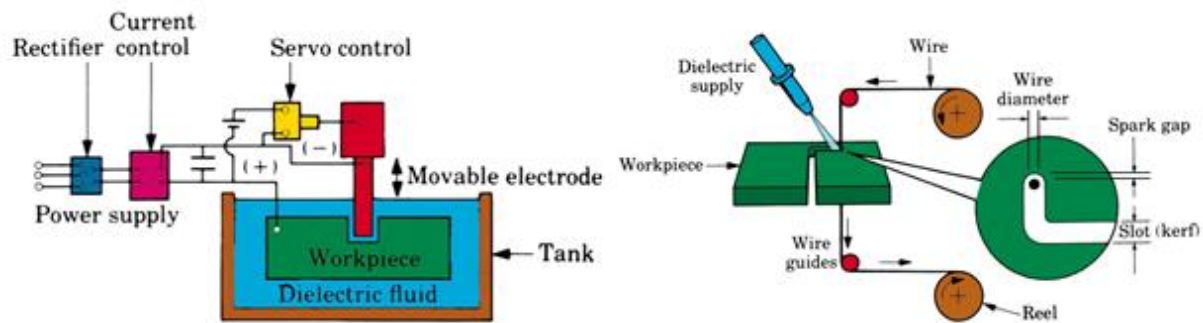
Platen

Een matrijs is opgebouwd uit op maat geslepen platen die (vaak) standaard afmetingen hebben. De matrijsplaten vormen als het ware het casco om de overige delen op hun plaats te houden. Deze platen worden als halffabricaat ingekocht door de gereedschapsmaker. Vervolgens wordt hierin de geometrie aangebracht om delen in te bevestigen of op aan te sluiten.

Productvormende delen

Deze delen zijn over het algemeen complex van vorm en van kleine tot gemiddelde grootte. De complexiteit is te danken aan het ontwerp van het kunststof eindproduct. Deze bevat vele functies in een relatief klein oppervlak.

De geometrie in deze delen wordt voornamelijk vervaardigd door middel van vonkerosie. Vonkerosie bestaat uit twee principes: draadvonken en zinkvonken. In afbeelding Figuur 3 zijn deze schematisch weergegeven.



Figuur 3 Links: zinkvonken Rechts: draadvonken (mechanicalinventions)

Hierbij worden de contouren als het ware uitgesneden door middel van draadvonken. De vorm van het product zelf wordt aangebracht door middel van zinkvonken. Hierbij zinkt een negatief van het te behalen resultaat als het ware in het metaal.

Draadvonken heeft over het algemeen een lagere oppervlakteruwheid en hogere nauwkeurigheid. Dit is te verklaren doordat de electrode (de draad) continue wordt doorgevoerd. Hierdoor heeft slijtage van de elektrode minder invloed op dit proces. Richtwaarden voor oppervlakteruwheid en nauwkeurigheid zijn $0.4\mu\text{m Ra}$ en ± 0.005 millimeter.

Bij zinkvonken heeft slijtage een grotere impact waardoor er doorgaans gewerkt wordt met meerdere elektrodes. Richtwaarden voor oppervlakteruwheid en nauwkeurigheid zijn $0.8\mu\text{m Ra}$ en ± 0.01 millimeter. Beide waardes kunnen worden verbeterd, echter de aanmaaktijd loopt hierdoor exponentieel op.



Figuur 4 Links: contour door draadvonken Rechts: geometrie door zinkvonken (Meerman, 2016)

Voorfrezen en harden

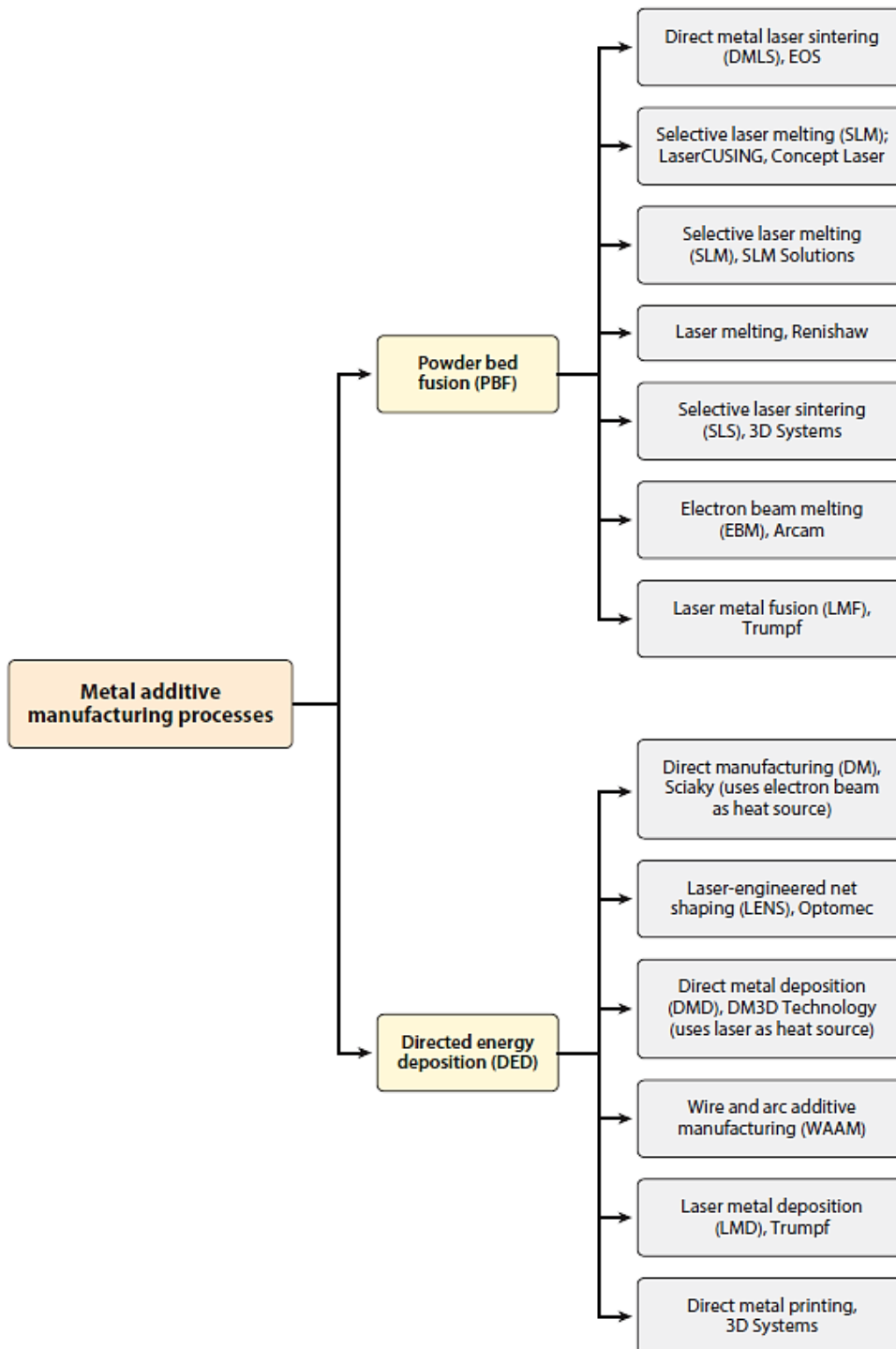
Alle delen die de holte van de matrijs vormen zijn gehard tot minimaal 52 HRC. Dit wordt gedaan om de levensduur te verlengen door de slijtage te verminderen. De slijtage wordt veroorzaakt door de mechanische werking van de matrijs en de abrasieve werking van de geïnjecteerde kunststof.

Hierdoor zijn deze delen niet meer te bewerken met de normale verspanende methodes zoals draaien en frezen. Na de warmtebehandeling om het werkstuk te harden, wordt er overgegaan op vonk eroderen en slijpen. Deze bewerkingsmethodes zijn wel in staat om gehard metaal te bewerken. Omdat de vorm van het werkstuk kan wijzigen na de warmtebehandeling, is het niet mogelijk om het werkstuk in één keer op maat te frezen en vervolgens te harden.

Omdat frezen een snellere bewerking is met gelijkwaardige tot hogere nauwkeurigheden, wordt er zo veel mogelijk gefreesd. Hierbij wordt een kleine materiaaltoeslag overgehouden zodat na het harden de definitieve vorm nauwkeurig aangebracht kan worden.

2.2. Verschillende methodes 3D printen

Tijdens het onderzoeken naar de verschillende methodes is het gemakkelijk om de weg kwijt te raken in alle namen en afkorting bedacht door de verschillende fabrikanten. Bijvoorbeeld SLS, SLM, DMLS al deze afkortingen staan voor een eigen interpretatie van het zelfde principe van 3D printen. Zoals te zien in Figuur 5 zijn al deze technieken terug te leiden naar twee principes. Namelijk poederbedfusie en het gericht deponeren van materiaal.



Figuur 5 Overzicht van de meest bekende AM methodes (Lewandowski & Mohsen, 2016)

2.2.1. Poederbedfusie (PBF)

Poederbedfusie bestaat uit het neerleggen van een laag metaalpoeder waarop het gewenste patroon wordt gesmolten. Dit proces wordt herhaald om laag voor laag het ontwerp in 3D te realiseren.

Het smelten van het poeder wordt gedaan door middel van een laser (SLM) of elektronen straal (EBM). Beide varianten hebben verschillende eigenschappen. Een samenvatting hiervan is te zien in Tabel 1. In het algemeen kan gesteld worden dat selective laser melting een trager maar nauwkeuriger proces is.

	SLM	EBM
Power source	One or more fiber lasers of 200 to 1000 W	High power Electron beam of 3000 W
Build chamber environment	Argon or Nitrogen	Vacuum / He bleed
Method of powder preheating	Platform heating	Preheat scanning
Powder preheating temperature ($^{\circ}$ C) [34,35]	100-200	700-900
Maximum available build volume (mm)	500 x 350 x 300	350 x 380(ØxH)
Maximum build rate (cm³/hr)	20-35	80
Layer thickness (µm)	20-100	50-200
Melt pool size (mm)	0.1-0.5	0.2-1.2
Surface finish [7] (Ra)	4-11	25-35
Geometric tolerance (mm) [12]	± 0.05-0.1	± 0.2
Minimum feature size(µm) [39]	40-200	100

Tabel 1 Vergelijking tussen laser en elektronenstraal (Bhavar, et al.)

Bij poederbedfusie dient het niet voor de geometrie gebruikte poeder tevens als ondersteuning voor overhangende geometrie. Dit maakt het gebruik van zogenaamde support structuren in veel gevallen overbodig. Een nadeel hiervan is, dat het niet gebruikte poeder, in het product zit omsloten als deze volledig dicht wordt geprint.

Bij poederbedfusie is het mogelijk om verschillende metalen te printen. Zowel titanium legeringen als de in de matrijzen veel toegepaste warmwerkstalen zijn verwerkbaar.

2.2.2. Directed energy deposition (DED)

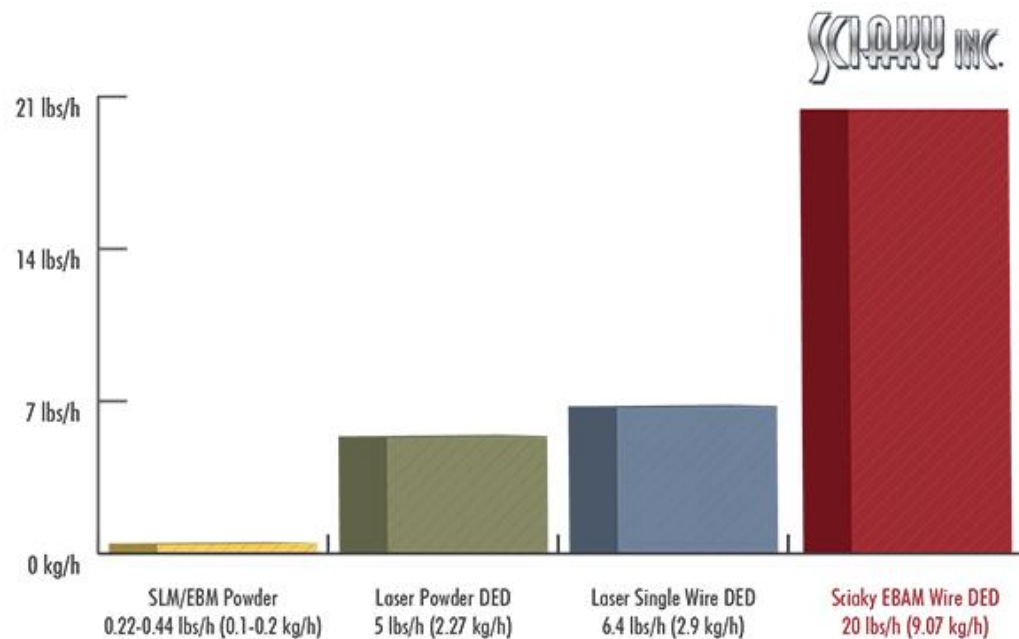
Additive manufacturing door het gericht deponeren van gesmolten materiaal is te verdelen in twee categorieën:

- Wire DED
- Powder DED

Wire DED

Wire DED lijkt qua techniek op het huidige laserlassen. Laserlassen is op dit moment een veelgebruikte techniek voor het repareren en aanpassen van bestaande matrijsdelen.

Echter bij laserlassen wordt het materiaal handmatig toegevoegd en gepositioneerd. Terwijl er bij deze 3D print techniek een 3D model volgens CAD wordt gerealiseerd. Deze techniek is minder fijn als laserlassen en beter geschikt voor grotere onderdelen. Fabrikanten maken dan ook reclame met de snelheid waarmee producten met deze techniek geprint kunnen worden en de grote afmetingen waarop dit mogelijk is.



Figuur 6 Vergelijking van printsnelheid verschillende print technieken (Sciaky inc.)

Powder DED

Deze techniek bestaat uit het “spuiten” van metaalpoeder welke door een laser of elektronen straal gesmolten wordt. Deze techniek is volgens de specificaties³ minder nauwkeurig dan poederbedfusie.

³ Specificaties DED

2.2.3. Hybride printen

Tijdens het onderzoek is gebleken dat het voor beide technieken, PBF en DED, mogelijk is om op bestaande onderdelen te printen. Dit wordt hybride printen genoemd.

Hybride printen levert twee voordelen op ten opzichte van het compleet printen van een nieuw deel. Ten eerste is het hierdoor mogelijk om bestaande delen te repareren of aan te passen. Hierbij moet wel vermeld worden dat de leverancier en tevens deskundige op gebied van poederbedfusie, printen op bestaande geharde delen afraadt bij poederbedfusie. Het geprinte materiaal versmelt met het bestaande oppervlak, vervolgens ontstaan er door de warmtetoevoer spanningen in het materiaal welke voor scheurvorming in het geharde deel kunnen zorgen. Bij directed energy deposition is de printsnelheid hoger waardoor de warmtetoevoer minder is.

Het tweede voordeel van hybride printen is te vinden in de kostprijs van geprinte delen. Deze is voornamelijk gebaseerd op het volume en daarmee de printtijd⁴. Door de “eenvoudige” geometrie met conventionele methoden te fabriceren wordt het te printen volume verminderd. Hierdoor neemt de prijs van het printen af.

Het conventioneel gefabriceerde deel dient, nadat hierop geprint is, gehard en nabewerkt te worden. In hoofdstuk 3.3.2 wordt hier verder op ingegaan.

Hybride printen bij poederbedfusie is alleen mogelijk bovenop bestaande geometrie. Dit proces is gebaseerd op het vast smelten van een vlak gestreken laag poeder. Dit neerleggen en vlakstrijken wordt gedaan met een “liniaal” die over het oppervlak heen wordt getrokken. Bij bestaande geometrie zou de liniaal tegen het bestaande deel botsen.

⁴ (Piili, et al., 2015)

2.2.4. Overzicht

In Tabel 2 worden de technische eigenschappen van de hiervoor behandelde methodes kort samengevat.

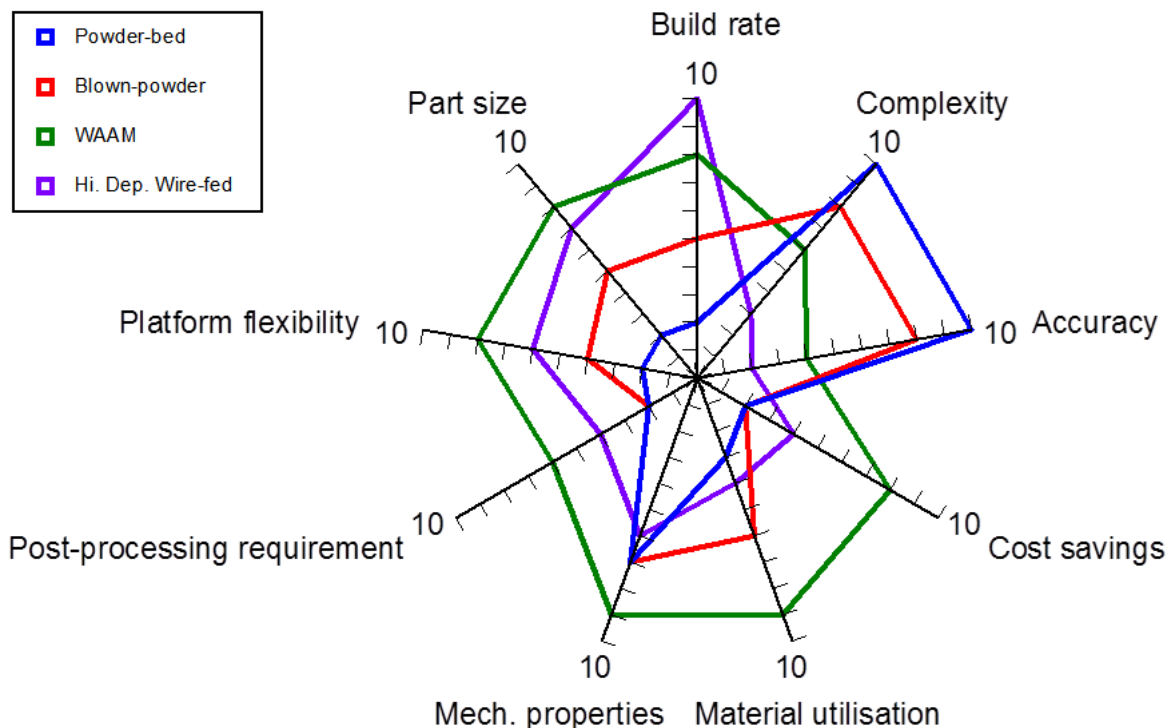
Methode	Nauwkeurigheid	Ra	Hybride	HRC.
PBF	±0.10 mm	4	Ja	52
Wire DED	±0.80 mm	-	Ja	-
Powder DED	±0.25 mm	6	Ja	-

Tabel 2 Overzicht technische eigenschappen

Elke methode heeft zijn eigen voor - en nadelen. Zo is laser PBF de meest nauwkeurige techniek met een redelijke oppervlakteruwheid. Maar tegelijkertijd is dit ook de meest langzame methode. PBF met elektronenstraal heeft al een hogere afzetsnelheid maar levert hierdoor in op nauwkeurigheid.

De DED technieken zijn het tegenovergestelde en focussen zich op het snel produceren van grote volumetrische producten. Hierbij is wire DED de snelste en meest grove methode en heeft powder DED al wat meer overeenkomsten met de PBF methodes. De onderlinge verschillen zijn in Figuur 7 weergegeven. De technieken zijn hierin als volgt genoemd;

- PBF als Powder-bed
- Powder DED als Blown-powder
- WAAM is een specifieke wire DED methode
- Wire DED als Hi.Dep.Wire-fed



Figuur 7 Onderlinge vergelijking AM technieken (Williams, S Cranefield university, 2015)

Omdat matrijsdelen een relatief lange levensduur hebben is de kostprijs van minder belang. De delen zijn complex en vragen een hoge nauwkeurigheid en goede mechanische eigenschappen. De printtechniek die op deze vlakken uitblinkt, zoals te zien in Figuur 7, is poederbedfusie.

2.3. Eisen MCI

Een matrijsdeel moet aan een aantal eisen voldoen om te kunnen functioneren. Deze eisen zijn voornamelijk technische specificaties. Niet elk deel in de matrijs heeft een gelijk pakket van eisen. Daarom zijn de eisen opgesteld aan de hand van het gekozen productvormende deel.

De onderstaande eisen zijn gebaseerd op een los te vervaardigen matrijsdeel. Hierbij wordt uitgegaan van een middelgrote kern ($\pm 100 \times 80 \times 130 \text{ mm}$). Verder wordt er ook uit gegaan van een vonkstructuur of vergelijkbaar oppervlak bij productvormende geometrie.

- Oppervlakteruwheid
 - Max 1.6 Ra
 - 0.8 Ra benodigd voor lageringen
- Nauwkeurigheid
 - Algemene tolerantie van ± 0.05 op productvormende geometrie
 - Draadvonkcontouren maximaal tolerantiegebied van 0.003 (-0.005 -0.008)
- Hardheid van productvormende geometrie
 - Hardheid 52-56 HRC.
 - Minimaal 52 HRC.
 - Volledig doorgehard materiaal
- Doorlooptijd
 - Nieuw product gereed binnen 5 weken na opdracht
 - Wijziging op bestaand product gereed binnen 2 weken na opdracht
- Gebruikte staalsoort
 - Hardbaar staal
 - Gereedschapsstaal
 - Bijvoorbeeld: 1.2510, 1.2083(ESR)

Hieruit valt te concluderen dat geen van de onderzochte printtechnieken geschikt is om de eisen van oppervlakteruwheid en nauwkeurigheid te halen.

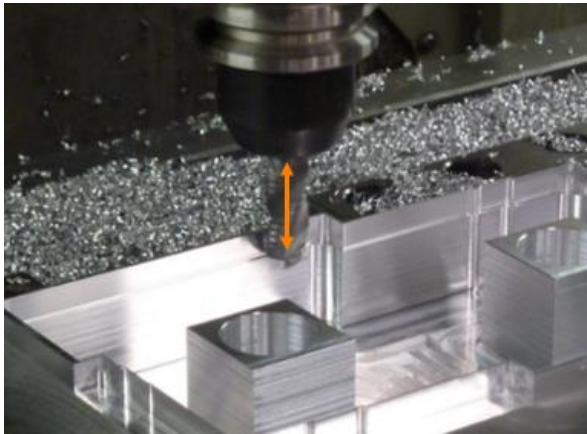
2.4. Toepassingen

Aan de hand van de in de vorige hoofdstukken onderzochte printtechnieken en de specificaties van MCI zijn er drie toepassingen bedacht waarbij additive manufacturing een toepassing zou kunnen hebben. Dit zijn het vormen van complexe geometrie, het repareren van bestaande delen en ingewikkelde koelkanalen ook wel conforme koeling genoemd.

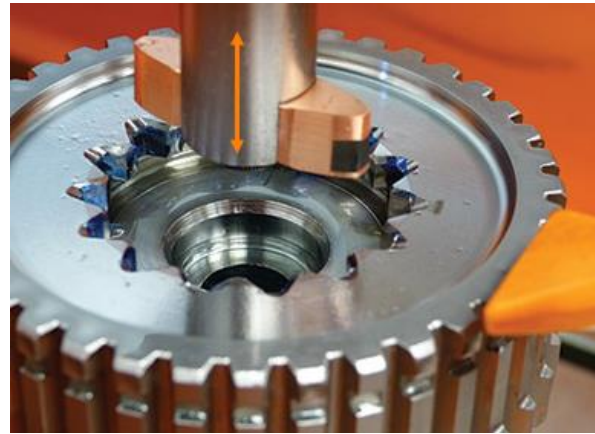
Deze toepassingen worden in de onderstaande hoofdstukken besproken.

2.4.1. Complexe geometrie

Eén van de eerste voordelen van additive manufacturing die men tegenkomt is de mogelijkheid om “alle mogelijke vormen” te printen. De huidige fabricagemethoden berusten veelal op het verwijderen van materiaal. Daardoor moet er, om de bewerking mogelijk te maken, altijd een frees/elektrode/slijpsteen in het materiaal kunnen zakken, om hier, na de bewerking weer uit gehaald te worden. Er kan gesteld worden dat de methodes waarbij materiaal verwijderd wordt een lossingsrichting nodig hebben. Deze richting wordt geïllustreerd in Figuur 8 en Figuur 9.



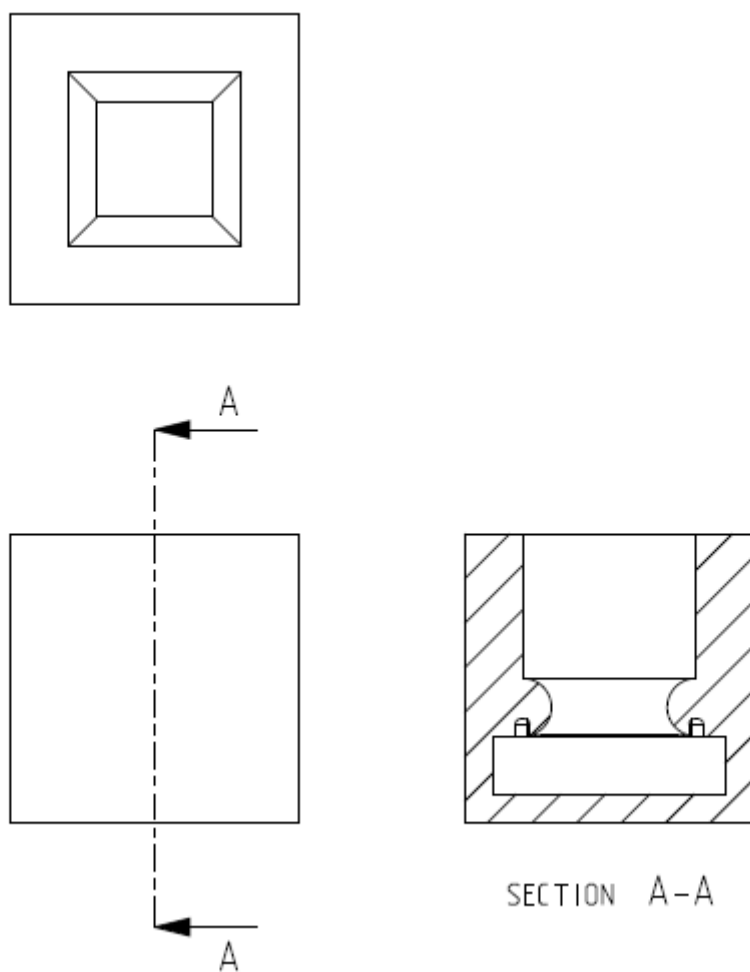
Figuur 8 Frezen (Machinefabriek De Wilde)



Figuur 9 Zinkvonken (SMG-Geertruidenberg)

3D printen heeft deze beperking niet en kan daardoor vormen creëren welke voorheen niet mogelijk waren. Dit zou bij productontwikkelaars de beperking weg nemen waarbij de maakbaarheid de geometrie bepaald.

De productvormende delen van de matrijs moeten echter niet alleen maakbaar zijn. Een beperking in de productvorm is het feit dat een matrijs lossend moet zijn. Dit wil zeggen dat het product, nadat het gestold is in de matrijs, ook uitgestoten moet kunnen worden.



Figuur 10 Matrijsholte geschikt voor 3D printen, echter niet lossend (Meerman, 2016)

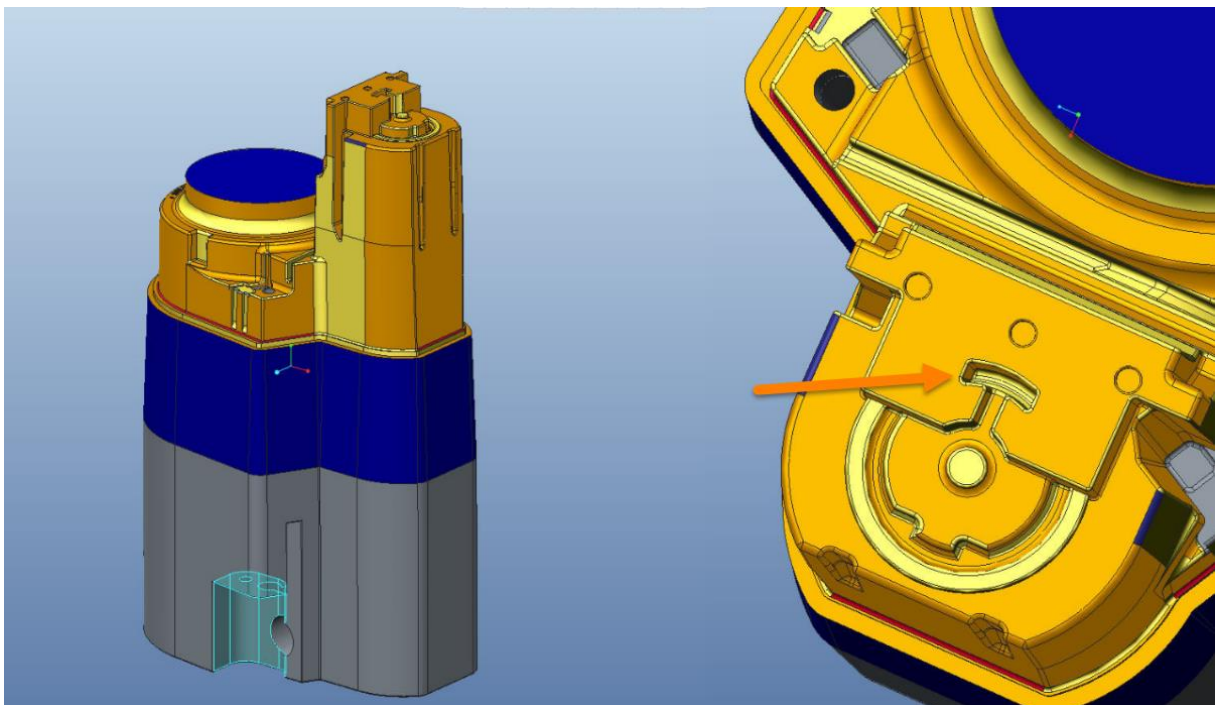
2.4.2. Aanpassen bestaande delen

De producten die geproduceerd worden met een spuitgietmatrijs zijn aan ontwikkelingen en wijzigingen onderhevig. Indien deze wijzigingen te ingrijpend zijn wordt er een nieuw productvormend deel aangemaakt of zelfs een compleet nieuw product ontwikkeld.

Het komt ook regelmatig voor dat er slechts een klein gebied in een productvormend deel gewijzigd moet worden. Denk hier bijvoorbeeld aan een nokje dat enkele tienden van een millimeter lager moet worden. In de matrijs geldt de vuistregel “kunststof weg is metaal bij” Kortom een nokje lager maken betekent: staal toevoegen in de matrijs.

Op dit moment worden soortgelijke wijzigingen uitgevoerd door met de hand metaal op de productvormende delen te laserlassen. Vervolgens wordt de gewenste geometrie aangemaakt door middel van vonkerosie.

Een beperking hierin is dat zowel het toevoegmateriaal als de laserstraal de plaats van het toe te voegen materiaal moet bereiken. Bij kleinere details is laserlassen dus niet meer mogelijk.



Figuur 11 Kern waarbij oplassen niet meer mogelijk is (Meerman, 2016)

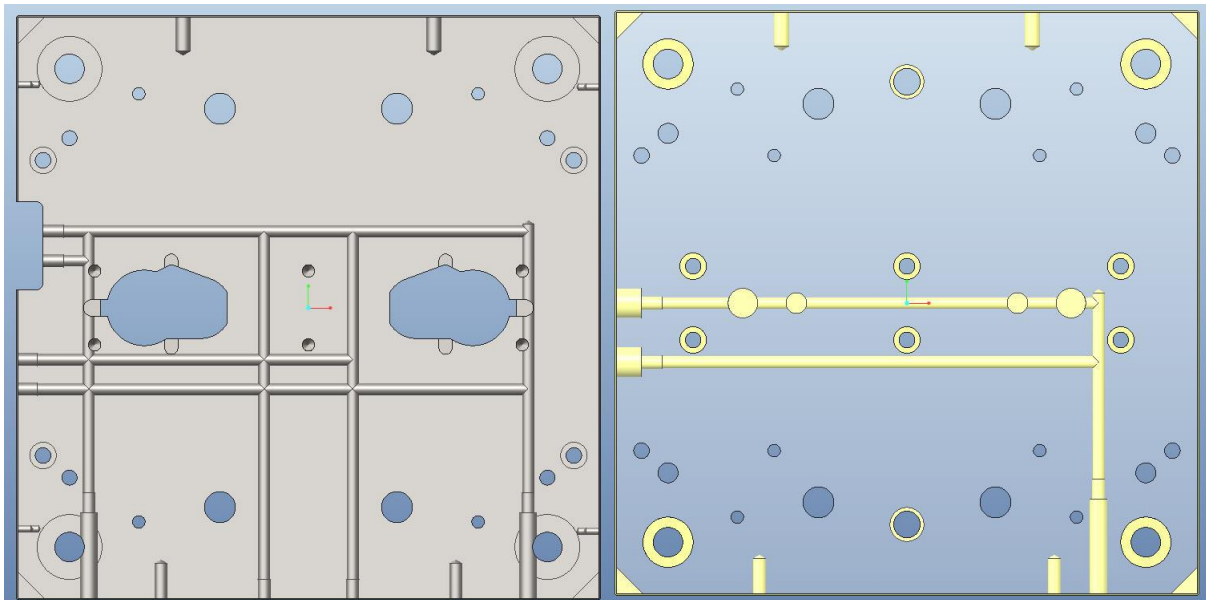
2.4.3. Conforme koeling

Conforme koeling is een vorm van koelen waarbij de baan van de koeling conform de contouren van de matrijswand is.

De koeling van de matrijs is een belangrijk onderdeel van het proces. Een goede koeling zorgt voor een kortere cyclustijd en producten met minder vervorming. Toch is de koeling een van de laatste punten bij het ontwerpen van een matrijs.

MCI's matrijzen worden gekoeld door middel van behandeld water. Dit water wordt door koelaggregaten op temperatuur gehouden en door de kanalen in de matrijs gepompt. Afhankelijk van de gebruikte kunststof en matrijsconstructie variëren de druk en temperatuur tussen de 2 en 4 bar en respectievelijk 40 tot 80 graden Celsius.

De kanalen in de matrijsplaten en productvormende delen worden over het algemeen geboord. Dit betekent dat deze kanalen alleen in een rechte lijn kunnen lopen. Dit is vaak een beperkende factor aangezien de producten complexere vormen bevatten dan rechte lijnen.



Figuur 12 Matrijsplaten met geboorde koelkanalen (Meerman, 2016)

Zoals in Figuur 12 te zien is moet de koeling vaak door de gehele matrijsplaat heen geboord worden. Vaak moet er om bestaande gaten heen gewerkt worden waardoor de koeling niet altijd uitgevoerd kan worden zoals gewenst. In de linker plaat is te zien dat er acht boringen nodig zijn om een kanaal rondom twee holtes te laten stromen. 3D geprinte koelkanalen zouden het aantal boringen kunnen verminderen en tevens voor een uniformere koeling zorgen.

2.5. Deelconclusie

Naar aanleiding van de voorgaande resultaten is er besloten om te verdiepen in één van de toepassingsgebieden. Dit betreft de conforme koeling. Hieronder wordt per toepassing uitgeweid waarom er wel of niet voor gekozen is.

Complexe geometrie

De complexe geometrie valt af, omdat de beperkingen van de bestaande technieken overeen komen met die van een spuitgietmatrijs. Namelijk de noodzaak van een lossingsrichting. Bij het bewerken van de productvormende delen is er de noodzaak om een frees, electrode of slijpsteen in en uit het materiaal te laten bewegen. Bij de matrijs is het een vereiste dat het product lossend is. Natuurlijk zijn er hier uitzonderingen waarbij 3D printen een uitkomst kan bieden. Echter deze komen sporadisch voor.

Aanpassen bestaande delen

Voor reparaties en wijzigingen aan matrijsdelen waarbij materiaal toegevoegd moet worden, wordt op dit moment laserlassen toegepast. De beperking voor MCI is hierin, dat in kleine diepe vormen, zoals Figuur 11, niet gelast kan worden. De onderzochte technieken bieden hier geen oplossing voor. Voor grotere wijzigingen worden er bij MCI nieuwe kernen aangemaakt. Aangezien alle printmethoden niet de gewenste oppervlakteruwheid en nauwkeurigheid behalen zal het resultaat evengoed nabewerkt moeten worden. Het voordeel tegenover een nieuw deel, verdwijnt dan al snel.

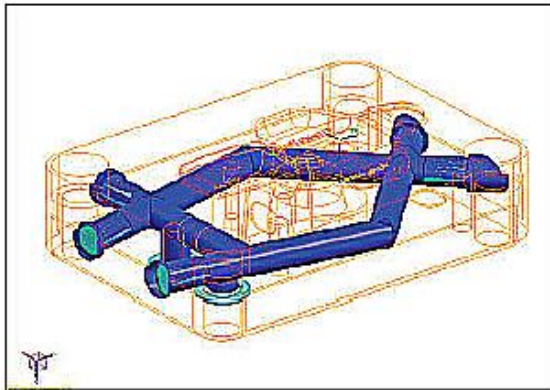
Conforme koeling

Bij conforme koeling kan de productvormende geometrie op een eventueel conventioneel aangemaakte basis geprint worden. Hierbij worden de complexe koelkanalen mee geprint. Na de warmtebehandeling wordt het productvormende deel, nabewerkt volgens tolerantie. De rechte aanvoer kan hierbij ook geboord worden.

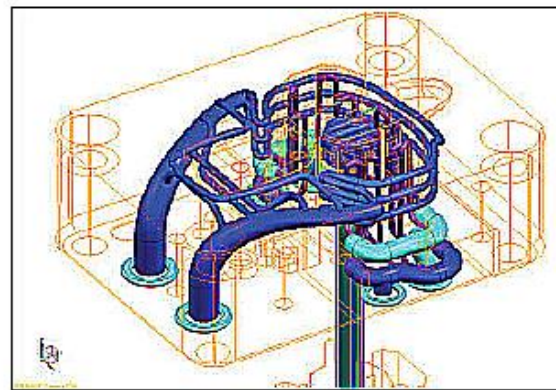
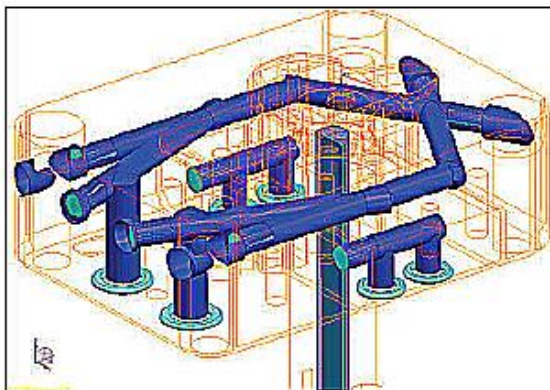
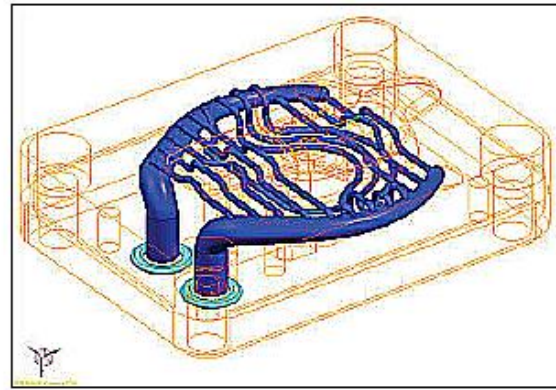
Omdat het product nog nabewerkt moet worden, zou de keuze op het snellere DED printen vallen. Echter de inwendige kanalen kunnen niet nabewerkt worden en het hybride printen op een eventuele basis moet ook nauwkeurig gebeuren. Hierdoor valt de keuze op PBF. Een bijkomend voordeel is dat het product na de warmtebehandeling spanningsarm en tot 52 HRC gehard is.

In Figuur 13 is een vormholte van een matrijs weergegeven. De oranje contouren zijn bewust vervaagd omdat de focus op de blauwe inwendige koelkanalen ligt. Hierbij zijn de koelkanalen in de linker afbeeldingen geboord en de rechter geprint.

conventional



LaserCUSING®



www.hofmann-innovation.com

Figuur 13 Verschil tussen geboorde en geprinte koelkanalen (Hofmann, 2014)

3. Diepteonderzoek

In het breedteonderzoek is besloten dat conforme koeling, de meest levensvatbare toepassing is. Ook is er in het breedteonderzoek besloten dat poederbedfusie de meest geschikte methode hiervoor is. Om de toepassing van conforme koeling te valideren, wordt er in het diepteonderzoek dieper ingegaan op de implementatie hiervan.

Hierbij is er gekozen om een kern van een bestaande matrijs uit te voeren met conforme koeling. Hierbij zal de koeling in 3D gemodelleerd worden. Het model wordt vervolgens gebruikt om een offerte op te baseren. Om de baten van de gewijzigde koeling te bepalen zal het model ook gebruikt worden om een vloeianalyse uit te voeren. Hiermee kan de warmtehuishouding, cyclustijd en vervorming van het product met en zonder conforme koeling vergeleken worden.

3.1. Overleg deskundigen

Tijdens het oriënterende breedteonderzoek is er gesproken met Guy Nyssen van de firma Landré. “Landré is een verkoop- en servicegerichte organisatie gespecialiseerd in CNC productietechnologieën” (Landré). Hierbij is informatie verstrekt over de printers, die Landré levert. Dit zijn de Lasercusing machines van Conceptlaser. Deze 3D printers zijn gebaseerd op het PBF principe en gebruiken hierbij stikstof als inert beschermgas.

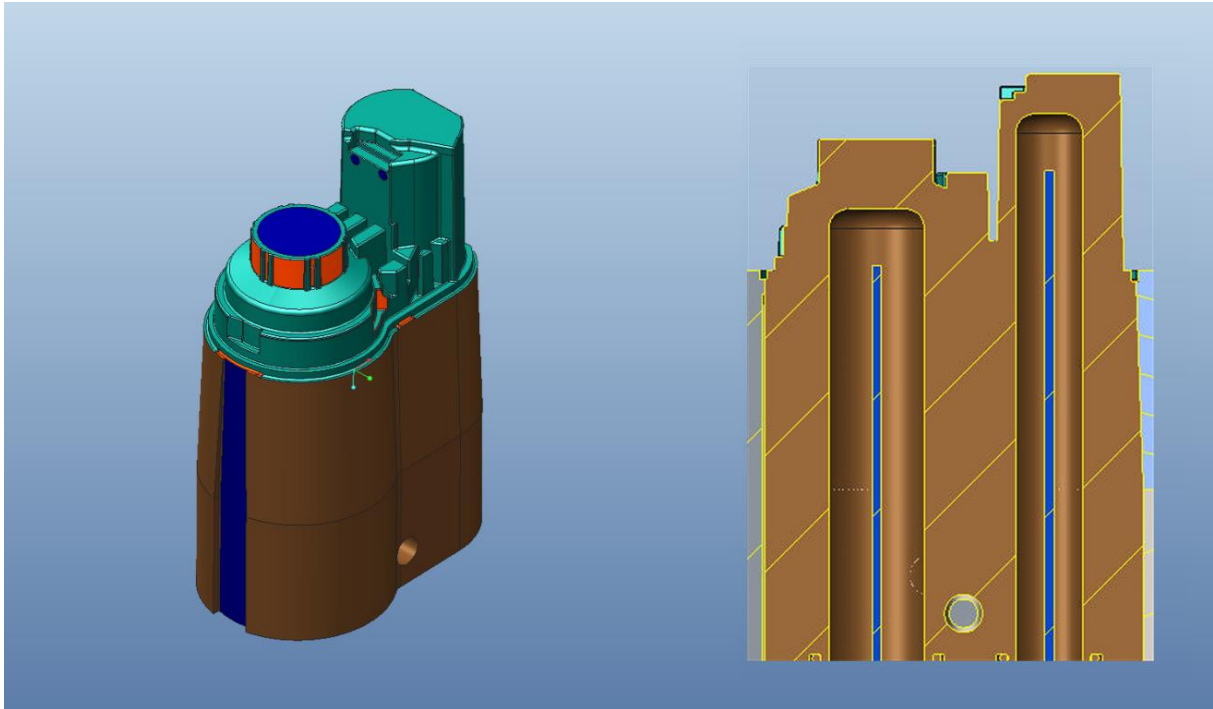
Tijdens het gesprek bleek, dat Conceptlaser een aantal “gecertificeerde” materialen aanbeveelt voor gebruik in hun Lasercusing. In de matrijzen van MCI kunnen er lokaal temperaturen tot 300 C voorkomen. Ook heeft de kunststof een abrasieve werking op de productvormende delen. De glasvezel vulling van bepaalde materialen draagt ook aanzienlijk bij aan de slijtage. Daarom gebruikt MCI hardbaar warmwerkstaal voor de productvormende delen.

Uit overleg met Guy is gebleken dat Conceptlaser in zijn programma van materialen een geschikt hardbaar warmwerkstaal heeft: CL50WS⁵. Dit materiaal voldoet aan MCI’s eisen voor bedrijfstemperatuur en haalbare hardheid.

Tijdens het gesprek met Guy is Christiaan Alofs van Maakmij BV. genoemd als deskundige op het gebied van PBF printen. Nadat de keuze op PBF is gevallen, is Christiaan uitgenodigd voor een gesprek bij MCI. Hierin heeft hij verteld over zijn expertise en de mogelijkheden van Maakmij BV. Maakmij legt de focus op de toepassing van conforme koeling in matrijsdelen en kon zich dan ook vinden in de conclusie dat deze toepassing van toegevoegde waarde is. “Het 3D-printen van metalen matrijsinserts biedt de spuitgietsbranche nieuwe perspectieven: conforme koeling is hierbij het sleutelwoord. Koelkanalen kunnen nu elke productvorm volgen en daardoor de matrijs effectiever koelen waar het nodig is. Maakmij BV is graag uw partner bij het maken van conforme koeling.” (Alofs). In dit gesprek is de kern uitgekozen waarop het diepteonderzoek uitgevoerd is.

⁵ Bijlage 2. CL50WS datasheet

In Figuur 14 is de oorspronkelijke kern te zien, de doorsnede geeft het koelkanaal weer. De groen gekleurde geometrie is productvormend gedeelte. In de twee koelkanalen wordt een messing schotje geplaatst dat niet volledig tot het einde loopt. Hierdoor kan het koelwater op en neer stromen. Op de doorsnede is goed te zien dat de afstand tussen koelkanaal en matrijswand lang niet overal gelijk is.



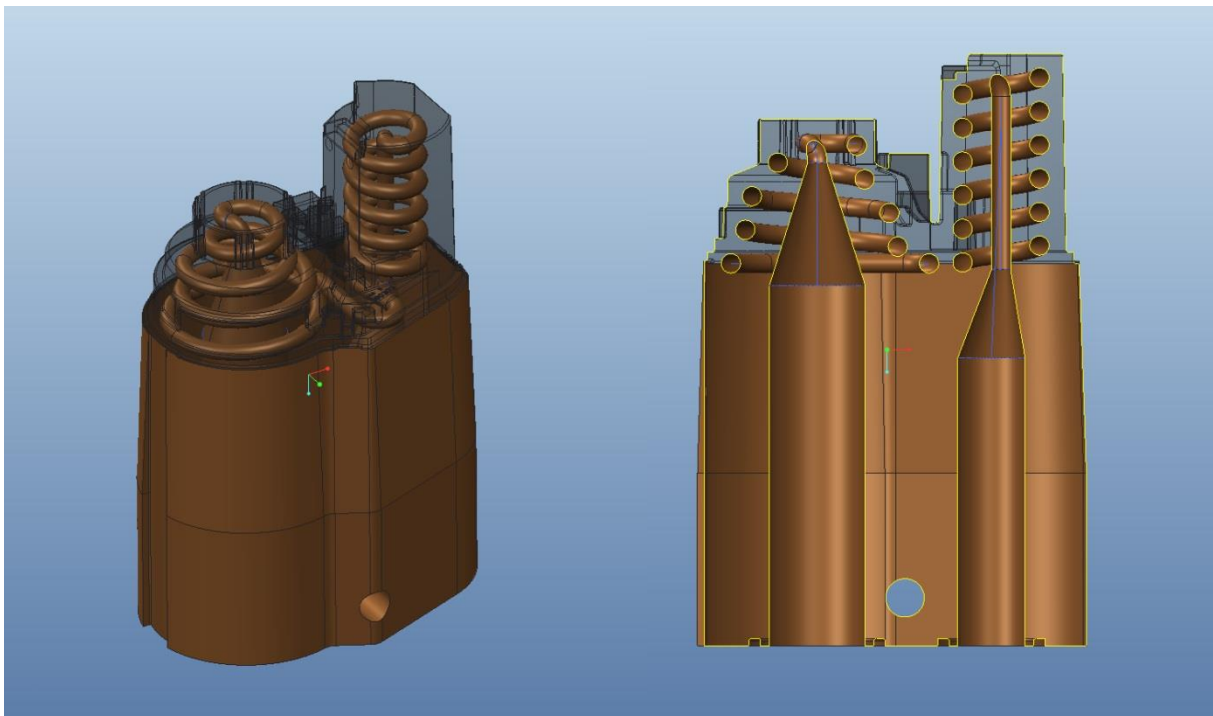
Figuur 14 De conventionele kern (Meerman, 2016)

3.2. Koelmodel

Nu er een concreet onderdeel is gekozen waarmee de haalbaarheid van conforme koeling getoetst gaat worden, moet deze gemodelleerd worden. Dit is nodig voor de vloeianalyse, maar ook voor de offerte van het voor en nawerken en het daadwerkelijke printen van de kernen.

Omdat het verstoppert van de koelkanalen een reëel probleem is, in de huidige matrijzen van MCI, is de diameter van de conforme koeling zo groot mogelijk gehouden. Er is gekozen voor kanalen van vier millimeter doorsnede.

Sterkte technisch hanteert MCI een minimale wanddikte van drie millimeter tussen matrijsholte en koelkanaal. Dit is een beperking in de plaatsing van de koelkanalen met een diameter van vier millimeter. Hierdoor is koeling in de ribben op het midden van de kern niet mogelijk. Deze ribben zijn zes millimeter dik en zouden dus een wanddikte van één millimeter aan beide zijden over houden.

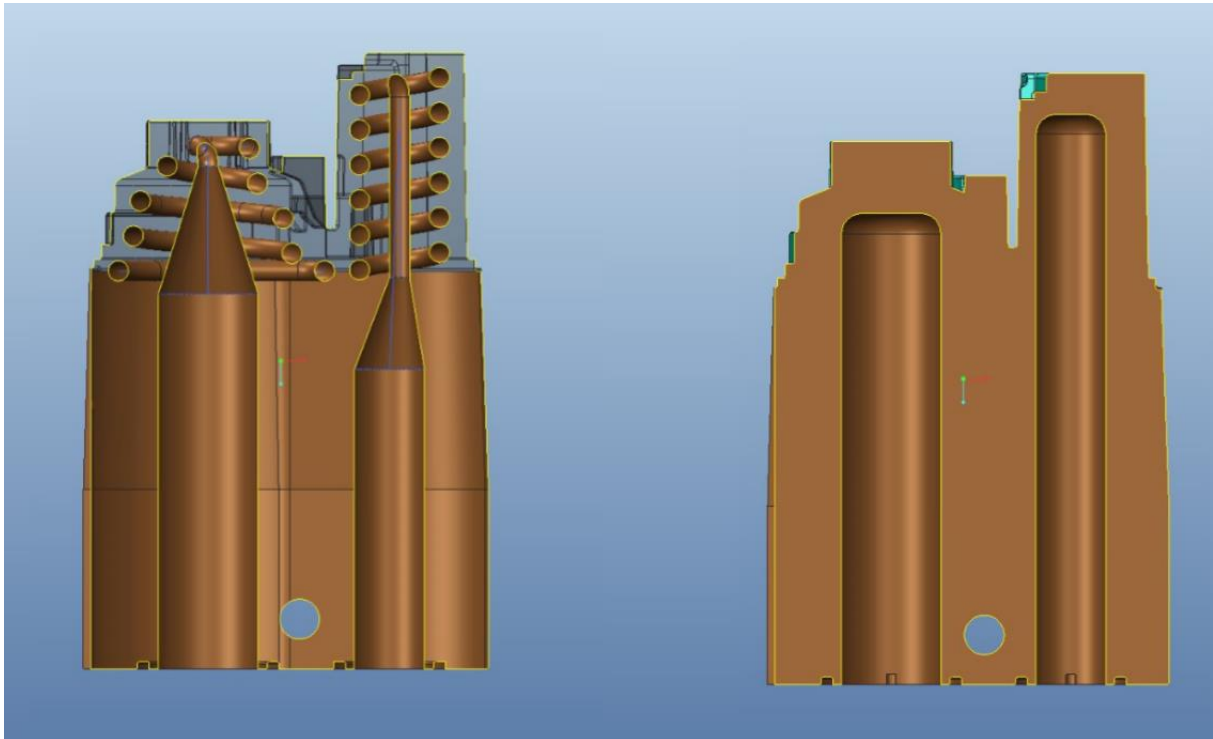


Figuur 15 De kern met conforme koeling erin gemodelleerd (Meerman, 2016)

In Figuur 15 is het definitieve model te zien. Hierin is onder andere te zien, dat de conforme koeling door de lus in het midden de twee spiralen verbindt. Deze lus koelt meteen het gedeelte, dat bij de conventionele koeling voor de meeste vervorming zorgde. 3D scans van de kunststof producten, die met de conventionele kern geproduceerd zijn, tonen aan dat het product “knikt” om de ribben in het midden⁶.

⁶ Bijlage 3. 3D scan product

Een andere beperking bij het ontwerp van de koelkanalen was de originele aansluiting van de kernen op de bestaande aanvoer in de matrijsplaten. In Figuur 16 is een doorsnede te zien van beide kernen. De steek en diameter van de originele kanalen is overgenomen in de kern met conforme koeling.



Figuur 16 vergelijking tussen conforme en conventionele koeling (Meerman, 2016)

Bij een compleet nieuw te ontwerpen matrijs bestaat de beperking niet, dat er op bestaande kanalen aangesloten moet worden. Dit zou nog meer vrijheid geven in het ontwerp van de kernen. Er valt nog een verbeterslag te maken met het ontwerp van de koeling. Er is echter na een aantal verbeterlagen en overleg met de deskundige besloten dat het gemodelleerde model een voldoende weergave van de praktijk geeft.

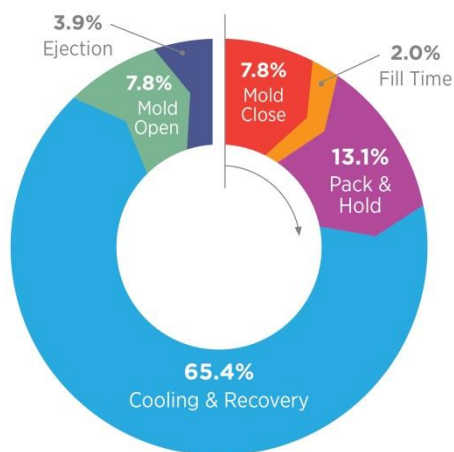
3.3. Vloeianalyse

Het project loopt te kort om de kernen daadwerkelijk aan te maken en vervolgens de resultaten te analyseren. Daarom is er gekozen om de baten te bepalen door middel van een vloeianalyse⁷. De analyse is uitgevoerd door een externe partij: Prototyp. Prototyp maakt gebruik van Moldex3D software om de analyse mee uit te voeren. In deze analyse wordt de vulling van het kuststof product gesimuleerd. Hierbij zijn de koelkanalen ook mee te modelleren en simuleren.

Uit de vloeianalyse kan een grote hoeveelheid data gehaald worden. Zowel over de matrijs als het product. Voor het effect en de baten van de conforme koeling is er gekeken naar de cyclustijd en de vervorming van het product.

3.3.1. Cyclustijd

Onder de cyclustijd van een matrijs wordt de tijd verstaan tussen het sluiten van de matrijs en het uitstoten van het eerstvolgende product. Dit proces is in Figuur 17 geïllustreerd. De grootste factor van de cyclustijd is de koeltijd. De vloeianalyse toont aan hoe lang het duurt tot het product is afgekoeld tot de stollingstemperatuur. Vervolgens toont het welke geometrie verantwoordelijk is voor deze koeltijd.



Figuur 17 SPUITGIETCYCLUS (Biomerics)

Op pagina 16 van Bijlage 4 is de koeltijd weergegeven. Hierin is links te zien dat de conventionele koeling een koeltijd van 31.65 seconden nodig heeft. Op de rechter afbeelding is te zien dat dit voor de conforme koeling 28.73 seconden is. Dit betekent een tijdsbesparing van grofweg 3 seconden dus bijna 10%. Deze verbetering zou volgens interne rekenmodellen de kostprijs per product met €0,004 verlagen. Dit lijkt een minimaal bedrag echter bij productieaantallen van anderhalf miljoen stuks levert dit jaarlijks ruim € 6.000,- op.

Er is goed te zien dat drie nokken in het product verantwoordelijk zijn voor de langste koeltijd. Er valt dus nog meer tijd te besparen door lokaal meer koeling toe te voegen. Om de baten te baseren op meer dan één analyse is er gekeken naar meerdere case studies (Moldex3D, 2015). Hierin zijn verbeteringen tot 60% behaald.

⁷ Bijlage 4. Vloeianalyse

3.3.2. Vervorming

Elk gespuits product heeft een zekere mate van vervorming. Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door het ongelijk afkoelen. Er zijn verschillende oorzaken voor het ongelijk afkoelen van het product. Ongelijke koeling en ongelijke wanddikte in het product zijn de twee voornaamste.

In de matrijs valt er vaak een winst te behalen op het gebied van vervorming door zo uniform mogelijk te koelen. Conforme koeling kan hier van betekenis zijn. In de vloeianalyse van de voor MCI gemodelleerde kern valt de verbetering echter tegen. Op pagina 17 van Bijlage 4 is te zien dat de totale vervorming (warp) van de conventionele en conforme koeling 0.689 respectievelijk 0.617 millimeter is. Deze minimale verbetering van 0.072 millimeter is haast niet significant te noemen.

Deze kleine verbetering van de vervorming is deels te wijten aan het feit dat de koeling is gemodelleerd met de insteek deze zo uniform mogelijk te maken. De wanddiktes van het product zijn echter niet uniform. Er zou dus nog een verbetering mogelijk zijn door de koeling bij de grotere wanddiktes te verbeteren of deze wanddiktes uit het productontwerp te verwijderen.

Een tweede verklaring van de marginale verbetering in vervorming ligt bij het hoge percentage glasvezelvulling. Om de resultaten beter te kunnen interpreteren is er een cursus⁸ gevolgd bij Moldex3D: de leverancier van het software pakket voor de vloeianalyses. Hierbij is gesteld dat de vervorming van glasvezelverstevigde producten minder beïnvloedbaar is door de koeling. De vezeloriëntatie speelt bij deze producten een grotere rol dan de koeling. Deze richting is niet te beïnvloeden door conforme koeling.

Case studies van Moldex3D tonen aan dat bij producten zonder glasvezel aanzienlijk betere resultaten te behalen zijn met conforme koeling. Afhankelijk van de geometrie en oorspronkelijke matrijsconstructie zijn verbeteringen tot 87% mogelijk (Moldex3D, 2015).

⁸ Bijlage 5. Certificaat vloeianalyse cursus

3.4. Aanmaak

Om een beeld te vormen van de kosten van conforme koeling is er een stuk werkvoorbereiding uitgevoerd. Hierbij is de manier van aanmaken onderzocht en zijn er offertes aangevraagd voor deze werkzaamheden.

3.4.1. Werkvoorbereiding

Omdat het 3D printen het duurste proces is en de prijs hiervan gebaseerd is op het te printen volume is het zaak om alleen de geometrie te printen die niet met de conventionele methoden te fabriceren is. Daarom is de kern in twee delen gesplitst. Hierbij wordt de productvormende geometrie met conforme koeling geprint op een voorgefabriceerd “blok”. Dit blok dient eerst aangemaakt te worden alvorens er op geprint kan worden. Vervolgens wordt de geometrie op het blok geprint en ondergaat het geheel een warmtebehandeling. Ten slotte worden er twee delen uit het totaal gedraadvonkt; een linker en een rechter versie.

3.4.2. Print basis

De basis waarop geprint wordt is een relatief simpel onderdeel. Het dient groot genoeg te zijn om zowel een linker als rechter geometrie op te kunnen printen. De toevoerkanalen van het blok zijn nauwkeuriger getolereerd als dat de functie vraagt. Hierdoor is het mogelijk deze te gebruiken als referentie om de printer op uit te lijnen. De tekening van het “prefab block” is te vinden in Bijlage 6.

Het gekozen materiaal voor het “prefab block” heeft werkstof nummer 1.2343. Dit is een chroom-molybdeen-staal. Dit is een warmwerkstaal met een goede verspaanbaarheid en heeft vergelijkbare hardingseigenschappen als het print materiaal.

De offerte⁹ voor dit onderdeel is gebaseerd op de aanmaak hiervan in combinatie met het nawerken van het geprinte en geharde totaal. De prijs hiervan komt neer op €3900,- .

3.4.3. 3D printen

Het printen gebeurt met een M1 cusing van Conceptlaser. Hierbij wordt geprint met het gekozen materiaal CL50WS gebaseerd op werkstofnummer 1.2709. Omdat de geprinte geometrie nog nabewerkt moet worden om de gewenste nauwkeurigheid en oppervlakteruwheid te behalen is er rekening gehouden met 0.5 millimeter bewerkingstoegift.

Na het printen ondergaat het geheel een warmtebehandeling zoals beschreven in Bijlage 2. Hiermee worden de spanningen van het smelten en stollen van het materiaal verminderd. Ook wordt hierbij het werkstuk gehard tot 52 HRC.

De offerte¹⁰ voor het 3D printen inclusief warmtebehandeling komt neer op €3200,-. In het geval van het voor en nawerken van het werkstuk kan de prijs beoordeeld worden aan de hand van voorgaande ervaring. Dit is niet mogelijk bij het 3D printen, daarom is er een tweede offerte¹¹

⁹ Bijlage 7. Offerte voor en nabewerking

¹⁰ Bijlage 8. Offerte 3D printen

¹¹ Bijlage 9. Tweede offerte 3D printen

aangevraagd via een online print “hub” (3D HUBS). Deze leverancier is gevestigd in Litouwen en levert de geprinte delen “as is”, een warmtebehandeling moet nog separaat uitgevoerd worden.

3.4.4. Nabewerking

Het nawerken van het geprinte en geharde werkstuk houdt in dat er twee kernen uitgesneden worden door middel van draadvonken. Vervolgens wordt de productvormende geometrie op de kernen met zinkvonken op maat gemaakt.

3.5. Kosten & baten

In totaal kost de aanmaak van een losse set van twee kernen met conforme koeling € 7.100,-. Deze kosten zijn voor een extra set kernen. Als er bij aanvang van het matrijsontwerp besloten wordt dat deze uitgerust moet worden met conforme koeling hoeft dit bedrag niet extra betaald worden. Het zit dan in de totaalprijs van de matrijs.

De kosten voor een set van twee kernen met conforme koeling is intern vergeleken met de kosten van het los vervaardigen van twee conventionele kernen. De conclusie hieruit is dat de conforme koeling slechts marginaal duurder is. Exacte prijzen zijn er niet. Er zijn onlangs twee soortgelijke kernen vervaardigd voor een bedrag van ±€6000,-.

Naast de aanmaakkosten zullen de kernen met conforme koeling ook meer onderhoud vereisen. Bij de huidige koelkanalen van rond acht millimeter zijn verstoppingen een uitdaging. Hierdoor is het noodzakelijk om de matrijzen te koelen met geconditioneerd en onthard water. Door deze maatregelen komt het sporadisch voor dat een kanaal dicht slibt. Bij de rechte, geboorde kanalen is dit relatief eenvoudig te verhelpen door de kanalen opnieuw door te boren. Deze mogelijk bestaat niet bij conforme koelkanalen. Er zal dus vaker en beter op de doorstroming van de koelkanalen gecontroleerd moeten worden. Dit kost meer tijd en zodoende ook geld.

De baten van conforme koeling zijn in dit geval significant in geval van de koeltijdverbetering van 9,22%. De vermindering van de vervorming is echter niet significant in het geval van de geanalyseerde kern van MCI.

De koeltijdreductie resulteert¹² in een kostenbesparing van grofweg € 19.000,- over vier jaar. Als de kosten voor de aanmaak van de kernen daar vanaf worden getrokken, zou de invoering van conforme koeling €11.900,- opleveren.

Naast het zelf uitgevoerde onderzoek zijn er verschillende case studies uitgevoerd door Moldex3D. Deze geven vooral bij niet-glasvezelverstevigde producten meer verbetering weer. Hierbij zijn koeltijdreducties van 60% en verminderingen van de vervorming tot 87% behaald (Moldex3D, 2015), (Moldex3D, 2015).

¹² Bijlage 11. Overzicht kosten

4. Conclusie & aanbevelingen

Nu de gekozen printtechniek en toepassing getoetst zijn en de kosten en baten bekend zijn kan er een conclusie getrokken worden. Met behulp van de opgedane ervaringen en gegevens kunnen de gestelde deelvragen beantwoord worden:

- Welke delen zouden met 3D printen vervaardigd kunnen worden
 - Productvormende delen zijn een geschikte kandidaat om met 3D printen te vervaardigen. Dit vanwege de geringe grootte en de wens om de koeling zo uniform mogelijk langs de complexe productgeometrie aan te brengen.
 - Omdat matrijsplaten en kooldelen sneller en goedkoper zijn met huidige methodes zijn deze niet geschikt om te printen
- Welke methode is het beste toepasbaar voor matrijsdelen
 - Poederbedfusie is de gekozen methode voor matrijsdelen met conforme koeling. Met deze methode zijn kleine vormen¹³ mogelijk. Verder heeft deze methode een hoge nauwkeurigheid en zijn de geprinte delen hardbaar tot 52 HRC.
- Welke eisen gelden er voor de te printen onderdelen en wordt hier aan voldaan
 - De opgestelde eisen zijn te vinden in hoofdstuk 2.3.
 - Aan de eisen met betrekking tot de oppervlakteruwheid en nauwkeurigheid kan niet voldaan worden, de geprinte delen zullen nabewerkt moeten worden.
- Welke toepassingen bieden voordelen tegenover de huidige methodes
 - De toepassing met de meeste potentie is het printen van conforme koelkanalen in de productvormende delen van de matrijs.
- Hoe moet(en) deze toepassing(en) geïmplementeerd worden
 - De betreffende kern met productgeometrie wordt 3D geprint met inwendige conforme koelkanalen.
 - De toepassing van conforme koeling verkort de cyclustijd met 10 tot 60% afhankelijk van productgeometrie¹⁴.
 - De toepassing van conforme koeling kan de vervorming tot 87% verminderen afhankelijk van productgeometrie
 - Omdat de kanalen van conforme koeling een kleinere diameter hebben als de gebruikelijke geboorde kanalen is het noodzakelijk dat deze regelmatig gereinigd worden om verstoppingen te voorkomen.

Om antwoord te geven op de hoofdvraag, Wat is de toepassing van 3D printen in een spuitgietmatrijs:

De toepassing van 3D printen in een spuitgietmatrijs is het printen van productvormende delen met daarin conforme koelkanalen.

¹³ Zie Tabel 1 Vergelijking tussen laser en elektronenstraal

¹⁴ Naar aanleiding van eigen resultaten en uit (Moldex3D, 2015)

Aanbeveling

Nu bekend is dat conforme koeling dé toepassing van 3D printen in spuitgietmatrijzen is, zou er verder gekeken moeten worden naar de specifieke toepassing.

Er wordt aangeraden om conforme koeling niet zomaar op elk product toe te passen. Er dient vooraf bepaald te worden of het product hier behoefte aan heeft. Dit kan theoretisch bepaald worden met de vloeianalyse van Moldex3D of een concurrent hiervan. Zodoende kan er zonder daadwerkelijk geld uit te geven aan de aanmaak en het testen van een kern bepaald worden wat de ordegrootte van de verbetering zou moeten zijn.

Om daarop verder te gaan wordt er ook aangeraden om de genoemde simulatiesoftware eigen te maken en op den duur een eigen licentie hiervoor aan te schaffen. Zodoende kunnen er iteratieslagen doorgerekend worden totdat een model naar tevredenheid functioneert.

Een kanttekening bij het gebruik van de software is wel dat deze niet als “heilig” beschouwd dient te worden. Uit praktijkervaring bij MCI blijkt dat de software een goede richting geeft maar de exacte waardes komen niet overeen.

Er dient ten slotte nogmaals benadrukt te worden dat het ontworpen koelmodel een benadering is van de mogelijkheden. Indien het maximale effect van conforme koeling behaald moet worden verdient het de voorkeur om de warmteoverdracht nauwkeurig te bepalen om zodoende de af te voeren warmte te bepalen. Hiermee kan de massastroom water bepaald worden en kan gecontroleerd worden of de diameter van het systeem voldoet.

5. Bibliografie

- 3D HUBS. (sd). *Browse online 3D printing services*. Opgeroepen op Oktober 31, 2016, van 3D HUBS: <https://www.3dhubs.com/3dprint#?place=Woerden,%20Netherlands&latitude=52.0833&longitude=4.9067&shipsToCountry=NL&shipsToState=UT>
- Alofs, C. (sd). *Maakmij B*. Opgeroepen op September 01, 2016, van Conforme koeling: <http://www.maakmij.nl/Conforme-koeling/>
- Bhavar, V., Kattire, P., Patil, V., Khot, S., Gujar, K., & Singh, R. (sd). *Additive Manufacturing Society of India*. Opgeroepen op November 22, 2016, van <http://amsi.org.in/>: <http://amsi.org.in/images/pdf/Full%20papers/review%20on%20powder%20bed%20additive%20manufacturing.pdf>
- Biomerics. (sd). *Biomerics.com*. Opgeroepen op December 11, 2016, van Process Development: <http://biomerics.com/engineering/scientific-injection-molding/process-development/>
- Hofmann, S. (2014). Concept Laser User Meeting 2014. *LaserCUSING - unlimited design possibilities for tool manufacturing*. Bamberg: Werkzeugbau Siegfried Hofmann GmbH.
- Landré. (sd). *Landré*. Opgeroepen op December 10, 2016, van Landré.nl: <http://www.landre.nl/nl/>
- Lewandowski, J. J., & Mohsen, S. (2016, April 21). Metal Additive Manufacturing: A Review of Mechanical Properties. *Annual reviews*.
- Machinefabriek De Wilde. (sd). *machinefabriekdewilde.nl*. Opgeroepen op November 19, 2016, van Enkelstuks of prototype: http://www.machinefabriekdewilde.nl/Enkelstuks_Prototype
- mechanicalinventions. (sd). *Electrical Discharge Machining (EDM) Principles*. Opgeroepen op November 17, 2016, van Blogspot: <http://mechanicalinventions.blogspot.nl/2016/01/electrical-discharge-machining-edm.html>
- Meerman, T. (2016). Eigenwerk. *Procesverslag*. Woerden, Utrecht, Nederland: Mirror Controls international.
- Mirror Controls International. (sd). *Home*. Opgeroepen op October 20, 2016, van [mirrorcontrols.com](http://www.mirrorcontrols.com/): <http://www.mirrorcontrols.com/>
- Moldex3D. (2015). *Conformal cool case study*. CoreTech System Co., Ltd..
- Moldex3D. (2015). *Conformal Cool Theory and verification instructions*. CoreTech System Co., Ltd..
- Optomec Inc. (sd). *3D Printing Electronics Laser Additive Manufacturing Systems*. Opgeroepen op Oktober 11, 2016, van Optomec.com: http://www.optomec.com/wp-content/uploads/2014/04/LENS_450_Datasheet-WEB.pdf
- Piili, H., Happonenb, A., Väistöc, T., Venkataramanana, V., Partanend, J., & Salminenena, A. (2015). Cost Estimation of Laser Additive Manufacturing of Stainless Steel. *15th Nordic Laser Materials Processing Conference* (p. 395). Lappeenranta, Finland: Elsevier Procedia.

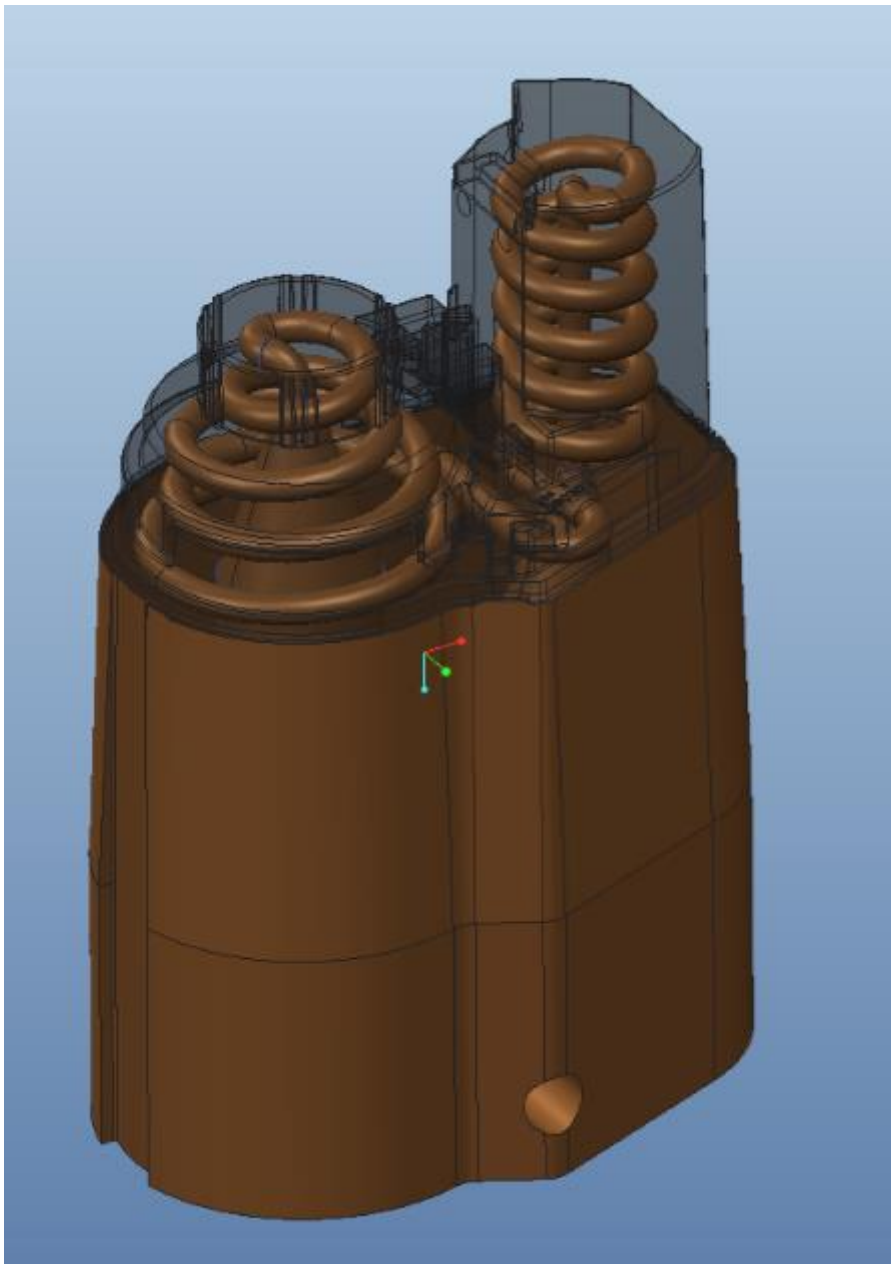
Sciaky inc. (sd). *Wire-based AM vs. Powder-based AM*. Opgeroepen op Oktober 13, 2016, van Sciaky.com: <http://www.sciaky.com/additive-manufacturing/wire-am-vs-powder-am>

SMG-Geertruidenberg. (sd). *smg-geertruidenberg.nl*. Opgeroepen op November 19, 2016, van Machinepark SMG: <http://www.smg-geertruidenberg.nl/machinepark---smg.html>

Williams, S Cranefield university. (2015, Oktober). *WIRE + ARC ADDITIVE MANUFACTURING*. Opgeroepen op Oktober 05, 2016, van waammat.com: <http://waammat.com/documents/waam-2015-general>

6. Bijlagen

In dit hoofdstuk zijn de in de tekst genoemde bijlagen te vinden.



Figuur 18 Kern met conforme koeling (Meerman, 2016)

Bijlage 1. Specificaties DED

Powder DED

LENS®450 Typical Performance Parameters

Process Work Envelope	Standard 450 : 100 x 100 x 100 mm Optional 450 XL: 150 x 150 x 150 mm
Enclosure	Class I Laser Enclosure, Hermetically sealed to maintain process environment and safety
Motion Control	3-axes standard: XY linear table motion Z Gantry motion
Positional Accuracy	± .25mm
Linear Resolution	± .025 mm
Motion Velocity	60 mm/s
Deposition Rate	Up to 0.5 kg/hr
Gas Purification System	Direct purge system to achieve low oxygen levels
Powder Feeder	Standard 450 :One integrated feeder (option to add one more) 450 XL: powder feeder cart with one feeder (option to add one more)
Lasers	400W IPG Fiber Laser
Software	Workstation Control; STL Editing; PartPrep slicing
Enclosure Dimensions	1 x 1 x 1.5 m, standalone unit

Tabel 3 Optomec specificaties (Optomec Inc)

Bijlage 2. CL50WS datasheet

.material data

CONCEPTLASER
hofmann innovation group

CL 50WS Hot-work steel

Hot-work steel 1.2709 (powder)

CL 50WS is a powder material for the production of components for tool inserts with conformal cooling. These tool inserts can be used for series injection moulding as well as for die-casting. Furthermore the material can also be used for functional components.

26
Fe
55,847

CHEMICAL COMPOSITION

Component	Indicative value (%)
Fe	Balance
C	≤ 0,03
Si	≤ 0,10
Mn	≤ 0,15
P	≤ 0,010
S	≤ 0,010
Cr	≤ 0,25
Mo	4,50 - 5,20
Ni	17,0 - 19,0
Ti	0,80 - 1,20
Co	8,50 - 10,0

www.concept-laser.de

RANGE OF APPLICATION

Tool inserts with conformal cooling in the area of injection moulding and die-casting as well as functional components.

TECHNICAL DATA AFTER RECOMMENDED HEAT TREATMENT

Yield Point $R_{p0.2}$ ¹	1.550 N/mm ²
Tensile Strength R_m ¹	1.650 N/mm ²
Elongation A ^{1,2}	2-3 %
Young's modulus ³	approx. 200 · 10 ³ N/mm ²
Thermal conductivity λ ³	approx. 20 W/mK
Hardness ⁴	up to 52 HRC

¹ Tensile test at 20°C according to DIN EN 50125

² By using a special heat treatment a higher elongation can be achieved.

³ Specification according to the material manufacturer's data sheet.

⁴ Hardness test according to DIN EN ISO 6506

CL 50WS
 Hot-work steel
 1.2709

MICROSECTION

Test piece (x 20 magnification)



Test piece (x 100 magnification)



HEAT TREATMENT

Heat up with 100°C/h up to 540°C. Maintain temperature for 6-10 hours. Allow the components to cool down in the oven with 100°C/h.

MICROSTRUCTURE

Components made from hot-work steel CL 50WS display a homogeneous, dense structure after they are manufactured by means of the metal laser melting process LaserCUSING®.

Concept Laser GmbH
 An der Zell 8
 D 96215 Lichtenfels

Sales Department
 info@concept-laser.de
 T: +49 (0) 9571 949 238
 F: +49 (0) 9571 949 249

A company of
HOFMANN
 Innovation group

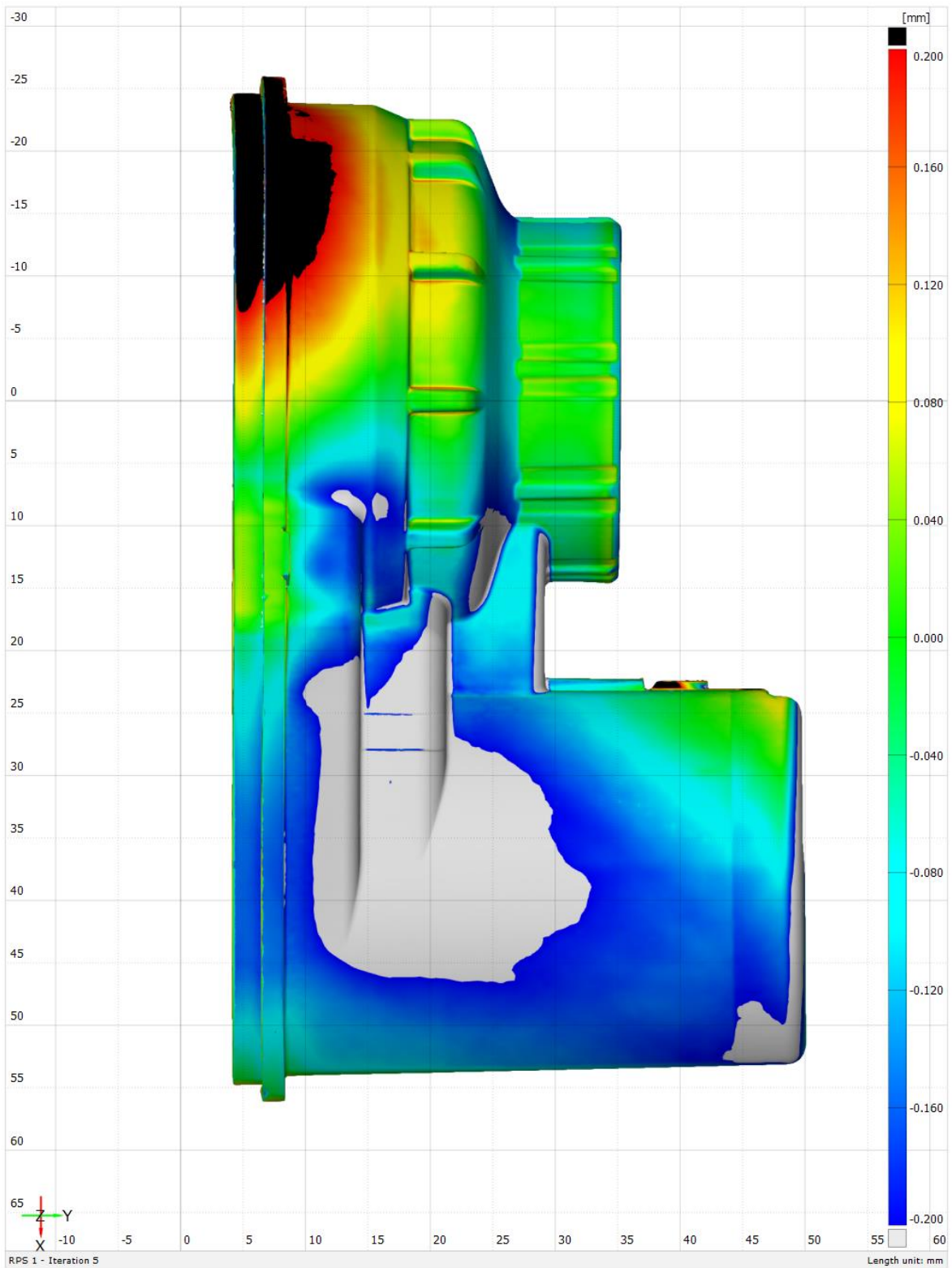
www.concept-laser.de

All stated values are approximate values. All details given also serve as our current up-to-date knowledge and depending on the process and machine parameters. The data contained in the material data sheet is mainly for general information and therefore should not be binding on the company.

Bijlage 3. 3D scan product

Generated with GOM Inspect 2016

Waprage



Goal simulation



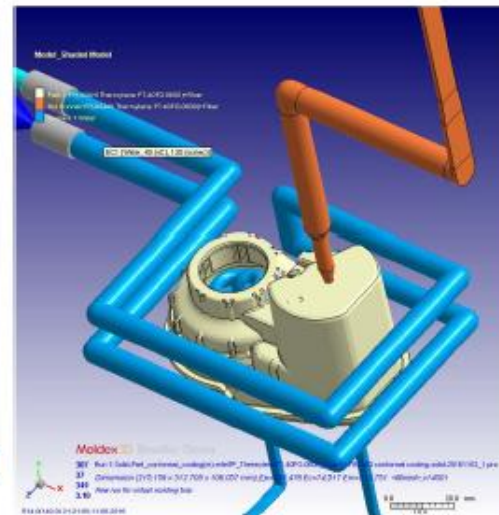
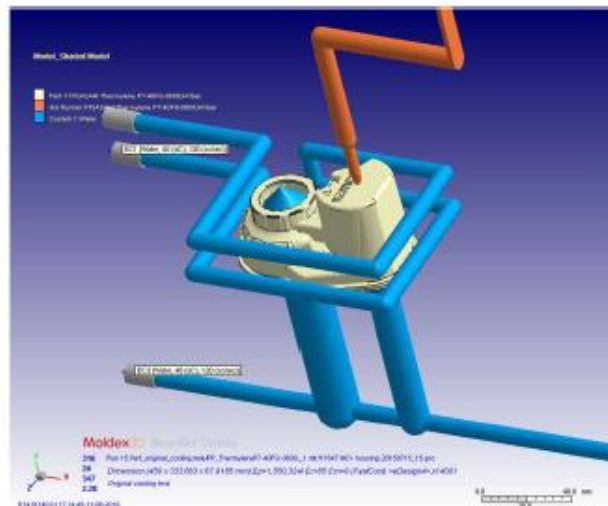
- To see the difference between original and conformal cooling.

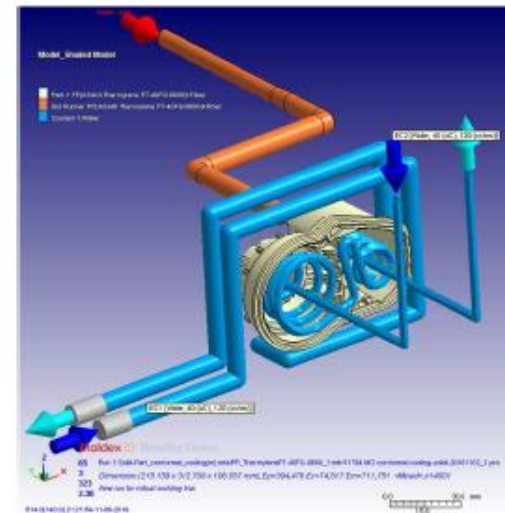
3

Model - Cover



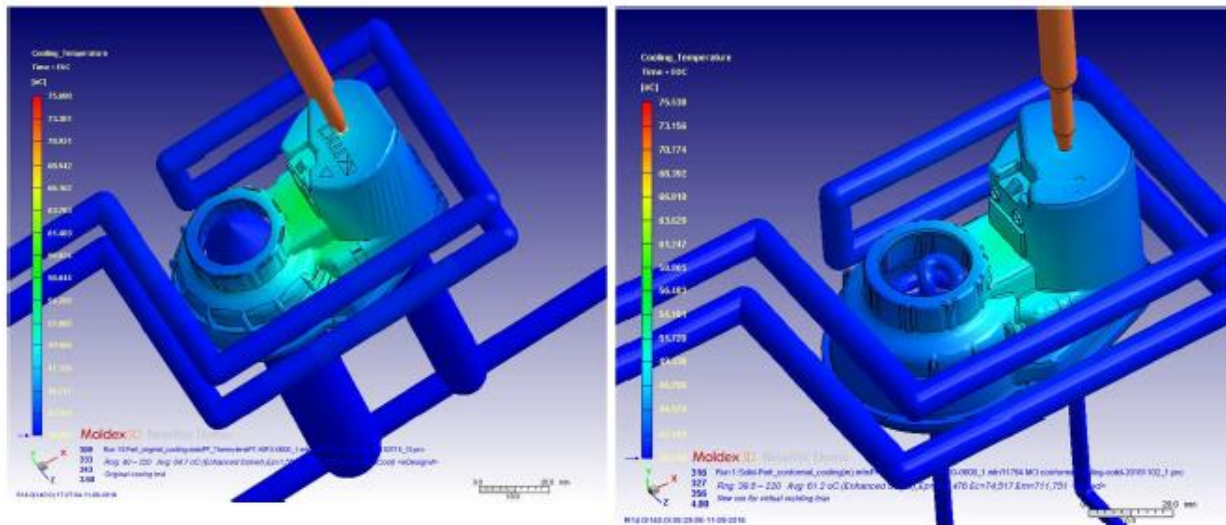
Original cooling



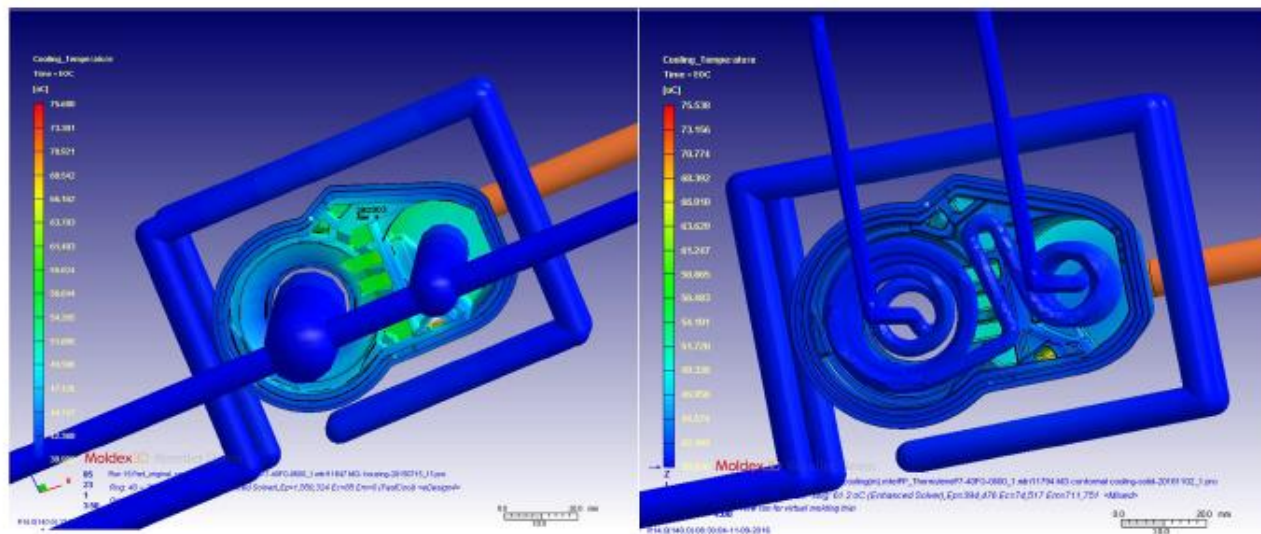


12040770

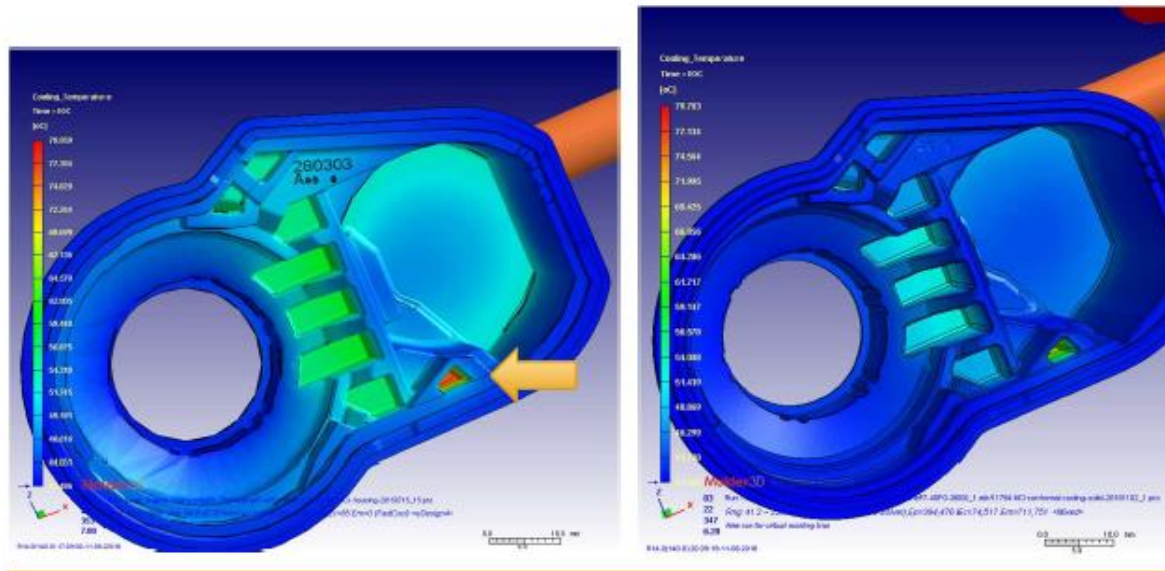
Cooling surface



Cooling surface

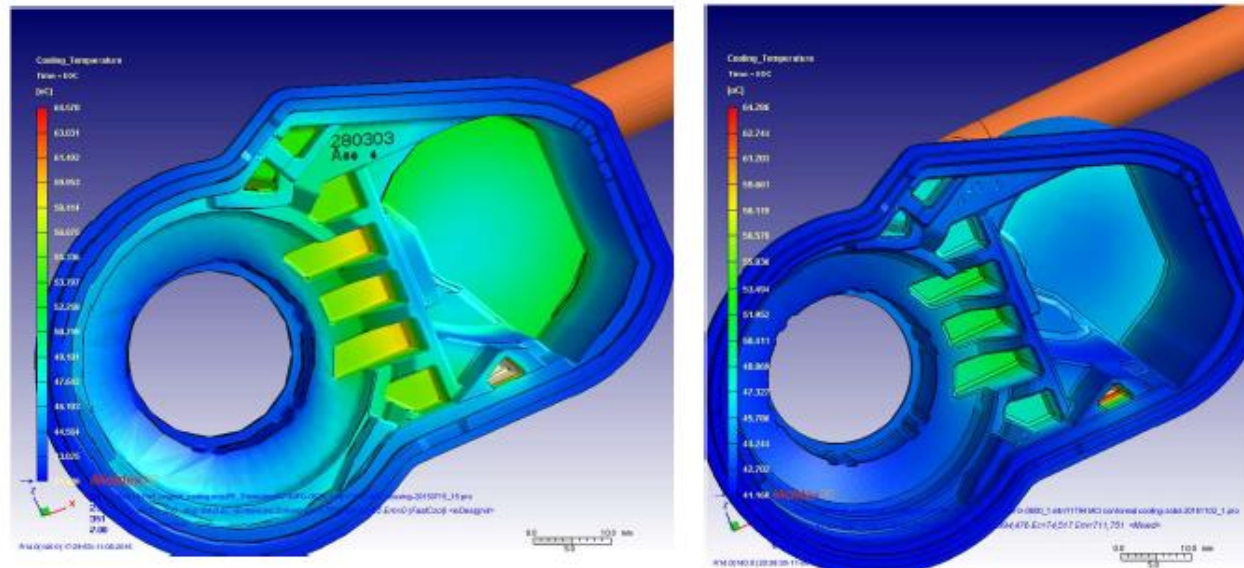


Cooling surface 80 degree

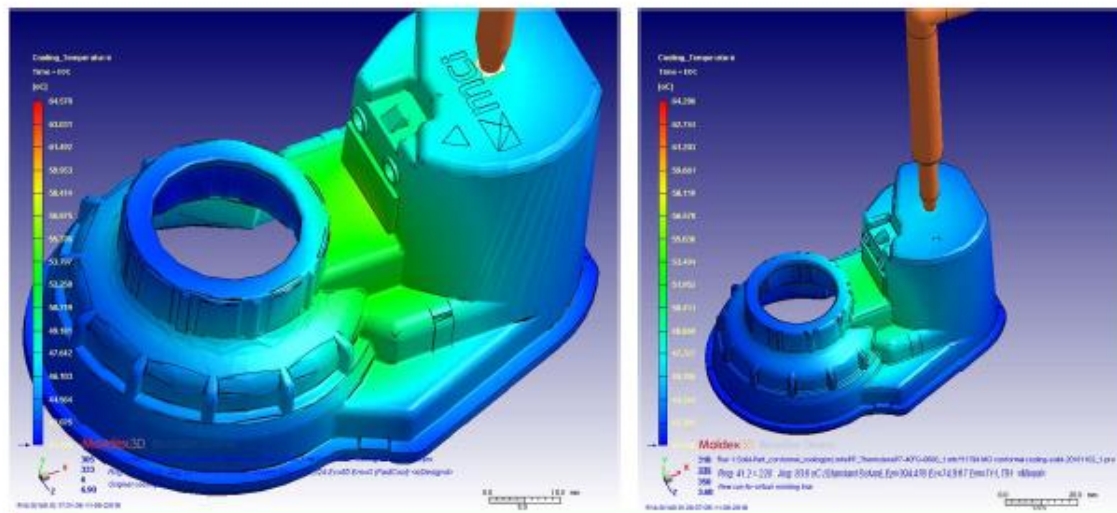


10

Cooling surface- 65degree

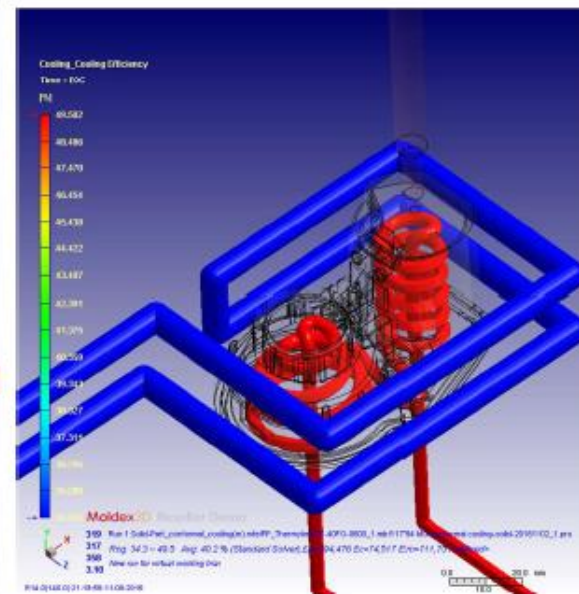
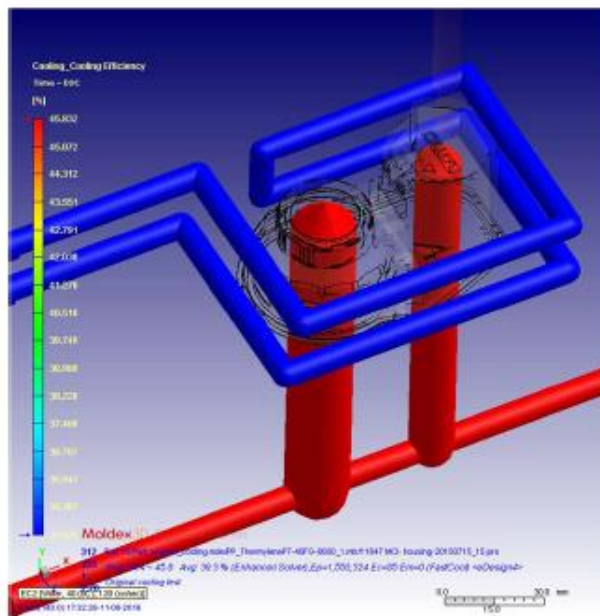


Cooling surface- 65degree

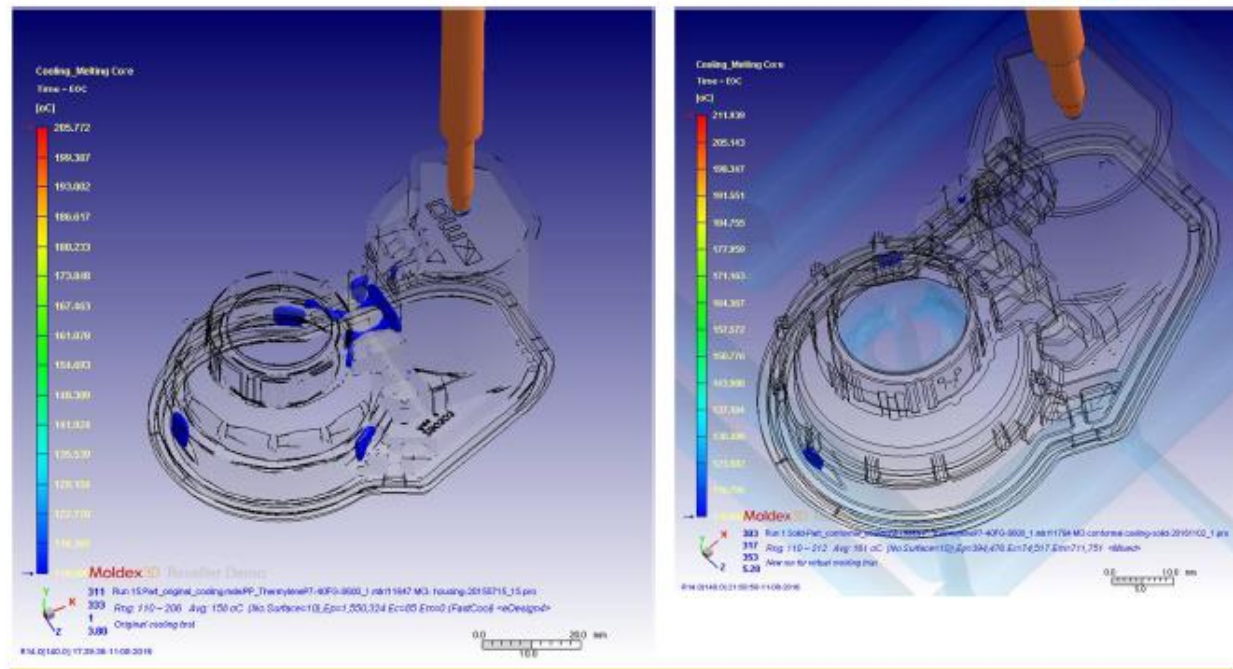


12

Efficiency



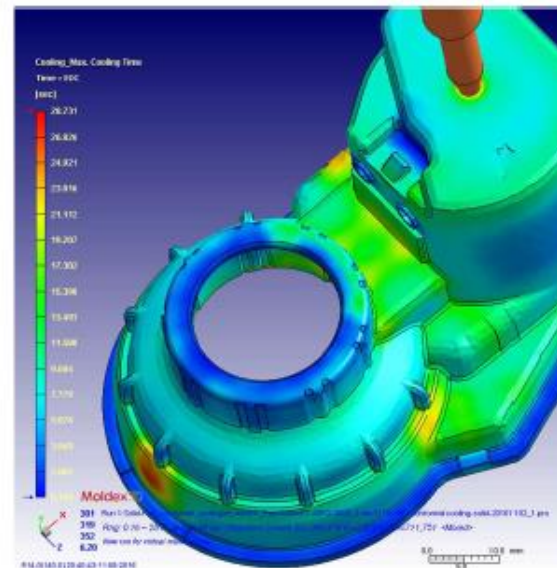
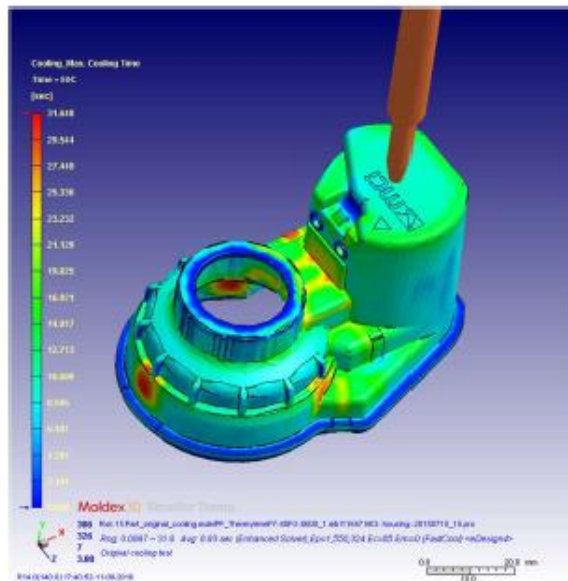
Melting core



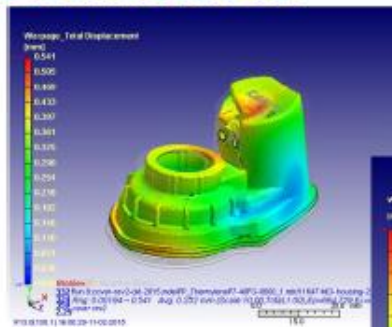
Cooling time



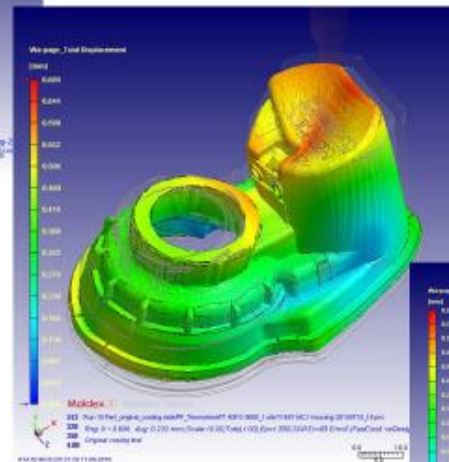
Cooling time improves



Extreme scale 10x

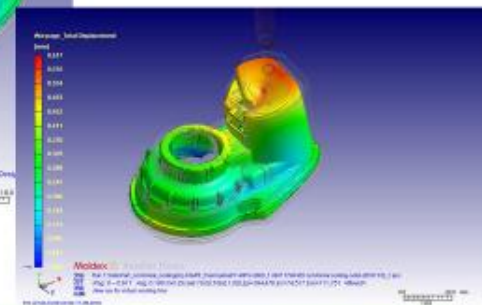


Previous without cooling= ideal cooling.



Standard
cooling

Conformal cooling



Conclusions



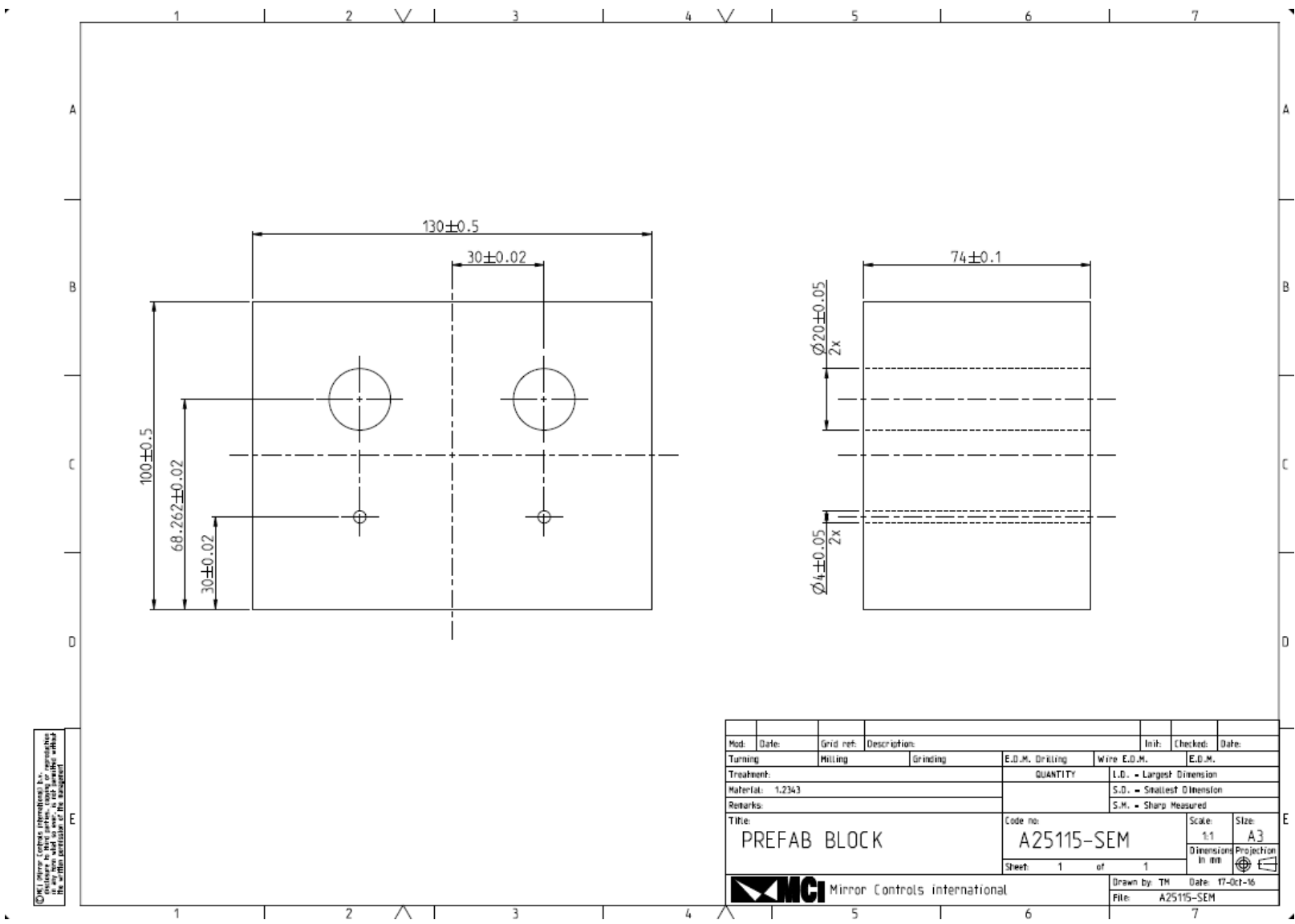
- Cooling time improves by 3 second, but hot areas are still to improved
- Warpage improves, but only a little

18

Bijlage 5. Certificaat vloeianalyse cursus



Bijlage 6. Detailtekening “prefab block”



Tom Meerman

12040770

Bijlage 7. Offerte voor en nabewerking

Pagina 1 / 1
C224000775-3
MCI Mirror Controls
International



GVW
Mould & Die Services B.V.
De Hoef 4
5311 GH Gameren
Nederland

t +31 (0)418 562 011
f +31 (0)418 562 109
www.artooling.com

MCI Mirror Controls International

Dhr. Leon Straver
Pompomolenlaan 29
3447 GK WOERDEN
Nederland

OFFERTE

Gameren, 07 november 2016

Ons offertenummer	C224000775-3
Uw contactpersoon	Leon Straver

Nr.	Artikel	Aantal	Eenheid	Prijsseenheid	Eenheidsprijs	Prijs
1	V205	1	st	1	€ 3.900,00	€ 3.900,00
	Omschrijving					
	Mould Spare part / Component					
	Aanmaak 1 Prefab Block					
	Aanmaak Domes op Prefab block in					
	beheer MCI Tom Meerman (niet					
	inbegrepen in prijs)					
	Bewerken Prefab Domes					
2	V205	2	st	1	€ 3.300,00	€ 6.600,00
	Omschrijving					
	Mould Spare part / Component					
	Aanmaak 2 Prefab Blocks					
	Aanmaak Domes op Prefab Blocks in					
	beheer MCI Tom Meerman (niet					
	inbegrepen in prijs)					
	Bewerken Prefab Domes op 2 Prefab					
	Blocks					

Totaalprijs (excl. btw) € 10.500,00
Levertijd in overleg, zes tot 8 weken

Algemene condities

Leveringsvoorwaarden

Betalingstermijn Betaling binnen 30 dagen
Betalingconditie 100 % na levering
Geldigheid Tot en met 06 januari 2017
Voorwaarden

Met vriendelijke groet,

Floris Winkelman

f.winkelman@artooling.com

ABN-AMRO: 401006735
SWIFT/BIC: ABNANL2A
IBAN: NL47ABNA0401006735
Chamber of Commerce: 30270041
BTW / VAT: NL821233488B01



Bijlage 8. Offerte 3D printen



MAAKMIJ

uw partner in 3D metaalprinten

MCI Netherlands B.V.
Pommolenlaan 29
3447 GK WOERDEN

Zaltbommel, 21. oktober 2016

Offerte

Offertenr.: A1610171_1

Uw referentie: asm0001_asm dd 17 oktober 2016

Hierbij sturen wij u vrijblijvend onze offerte voor:

Omschrijving	Aantal	Eenheid	Eenheidsprijs	Bedrag
Lasercusing kern A25115	2	Stuks	1.600,00	3.200,00
Warmtebehandeling inclusief.	2	Stuks	0,00	0,00
Totaal EUR excl. btw				3.200,00
21% btw				672,00
Totaal EUR incl. btw				3.872,00

Levering: Af fabriek
Betaling: Netto 30 dagen

Wij hopen u hiermee een passende aanbieding gemaakt te hebben. Neem alstublieft contact op als u nog vragen heeft.

Met vriendelijke groet,

C.F. Alofs
Maakmij B.V.

Valeton 29A-1
5301 LW Zaltbommel
info@maakmij.nl

KvK: 34018871

BTW: NL 0015 5558 3B01

IBAN: NL05 INGB 0007 0889 81

Op al onze overeenkomsten zijn de metaalunievoorwaarden van toepassing.

Bijlage 9. Tweede offerte 3D printen

3D HUBS
3D Print
Learn

Sign Up
Log in
3D Print

3D Pro's Hub
4.8 15 reviews

3D printing of different plastics, metals and colorful plaster. We work with the latest technologies of 3D printing and we have many years...
[Read more](#)

View Hub

bramhallo reviewed a year ago

★★★★★ 5.0

Beautiful print and a really friendly hub. On top of that the order was quickly handled so all in all a great printing experience.

[Previous review](#)
[Next review](#)

Vilnius, LT
1401.1 km away

1 Print options
2 Order details
3 Your details
4 Hub review

Choose a material and color to print with

Material (4 available)
Colors (1 available)

Maraging Steel - € 2 162,97
grey

Extremely high strength steel laser sintered from a fine powdered material. Ideal for high performance industrial and engineering parts.

Order quote
€ 2 197,97

Next

- Ready by 4 November
- Only pay when your order is accepted
- 3D Hubs Buyer protection

Available materials

Stainless Steel 17-4	€ 817,56
Cobalt Chromium (CoCr)	€ 1124,58

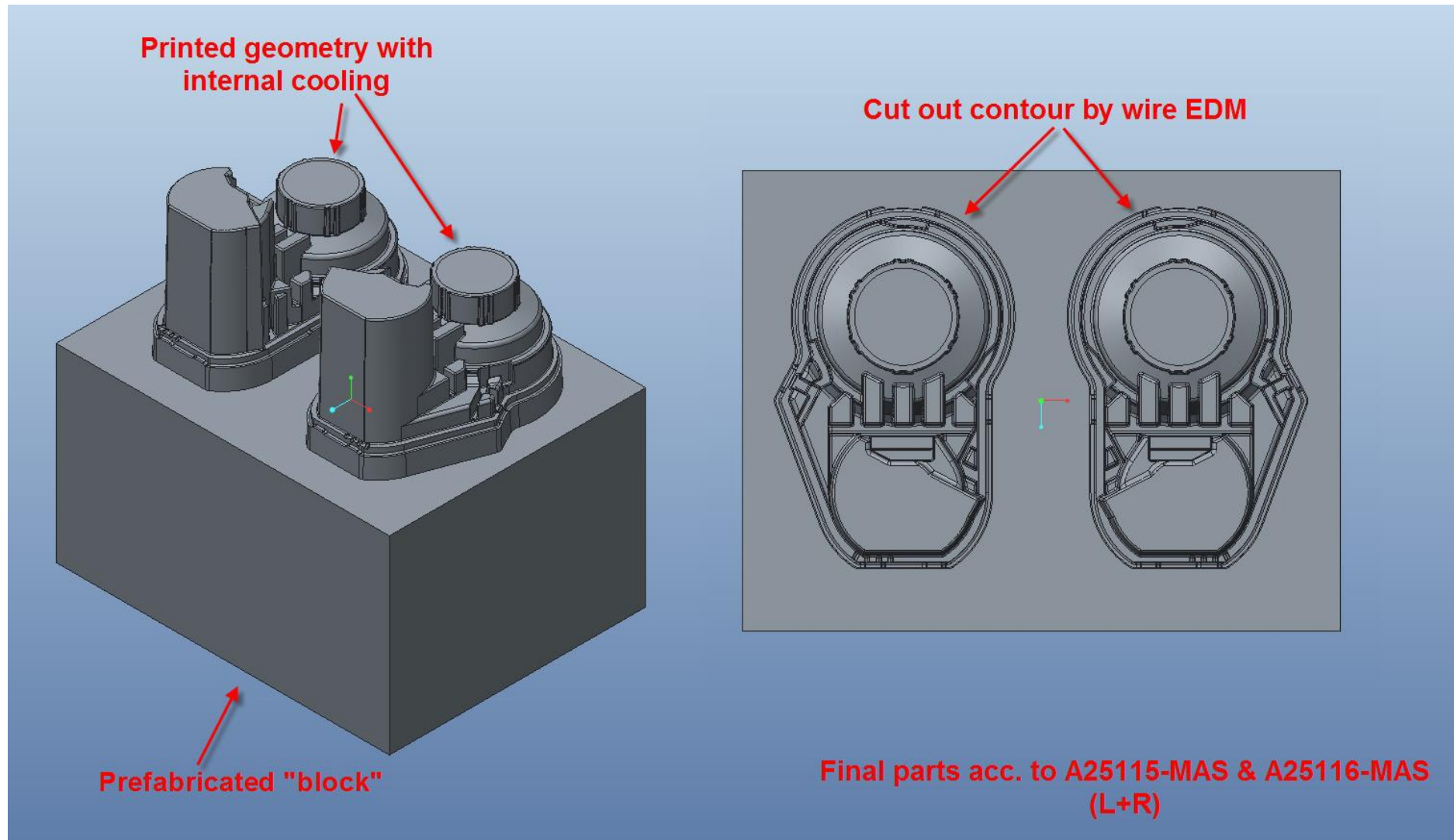
[See all materials](#)

Fast TNT	5 Nov	€ 35,00
TNT	5 – 8 Nov	To be defined
Pickup (1401.1 km away)	4 Nov	Free

Ready by
4 November

Select

Bijlage 10. Opdeling hybride printen



Bijlage 11. Overzicht kosten

Aanmaak		Totaal				
Wat	Kosten	Kosten	€ 7.100,00			
Voor+nabewerken	€ 3.900,00	Baten	€ 18.938,80			
Printen	€ 3.200,00		€ 11.838,80			
Totaal	€ 7.100,00					

Kostenbesparing					
Jaar	2018	2019	2020	2021	
Aantal producten	500000	1000000	1500000	1500000	
Productprijs					
Productprijs conforme koeling					
Besparing per product	€ 0,004	€ 0,004	€ 0,004	€ 0,004	
Besparing per jaar	€ 1.834,33	€ 4.276,12	€ 6.414,18	€ 6.414,18	

Tijdsbesparing	
Cyclustijd	31,648 [s]
Cyclustijd conforme koeling	28,731 [s]
Tijdsbesparing	2,917 [s]
Tijdsbesparing	9,22 [%]

Figuur 19 Kosten en baten overzicht