

Woord vooraf

Ik heb de kans gekregen om mijn masterproef uit te voeren in Cel Kunststoffen, een onderzoeksgroep van de KHLim en KU Leuven te Diepenbeek. Deze spannende en leerrijke ervaring maakt deel uit van de gezamenlijke opleiding van UHasselt en KU Leuven tot master in de elektromechanica van aan de universiteit te Hasselt.

Ik heb gekozen voor een onderwerp verbonden aan de kunststoffensector, nadat mijn interesse aangewakkerd werd in de lessen materiaalkunde van het schakelprogramma waarbij een korte inleiding omtrent kunststoffen gegeven werd .

Graag wil ik iedereen bedanken die een bijdrage heeft geleverd aan de verwezenlijking van deze masterproef. Mijn dank gaat in de eerste plaats uit naar de promotoren te Cel Kunststoffen, ing. Raf Appermont en dr.ir Jozefien De Keyzer en mijn interne promotor dr.ir. Maarten De Munck. Niet alleen voor de kans en het vertrouwen die ik van hun gekregen heb, maar ook voor het opvolgen van de masterproef, met de daarbij horende opbouwende kritiek.

Verder mag ik ing. Koen Libens niet vergeten voor de begeleiding in het materiaallabo, Jan Kerremans voor de kennismaking met de spuitgietmachine en dr. ing. Sofie Sannen voor de bijstand tijdens het spuitgieten van de eerste stalen. Zij waren altijd bereid om mijn vragen zo goed mogelijk te beantwoorden en tips te geven. Vervolgens dank ik dr. Jeroen Lievens voor de lessen inzake het communicatief gedeelte van de masterproef.

Tot slot wil ik mijn ouders en zus bedanken, met hun steun en vertrouwen heb ik mijn opleiding tot Ingenieur tot een goed einde kunnen brengen.

Wim Lijnen

Augustus 2014

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen.....	5
Lijst van figuren	7
Verklarende woordenlijst.....	9
Abstract	11
Summary	13
1. Inleiding	15
1.1 Situering	15
1.2 Probleemstelling.....	16
1.3 Doelstellingen	16
1.4 Materiaal en methode.....	17
2. Literatuurstudie	19
2.1 Spuitgietyclus.....	19
2.2 Conventioneel vs. Variotherm spuitgietyen.....	20
2.3 Vloeilijn	22
2.4 Oppervlaktekwaliteit	25
3. Materiaal en Methode	27
3.1 Spuitgietymachine.....	27
3.2 Matrijzen	29
3.3 Tempereerapparaten	31
3.4 Polymeren	32
3.4.1 Vooranalyse	33
3.5 Design Of Experiments	36
3.5.1 Motivatie procesparameters.....	36
3.5.2 Procesparameters PC ABS	38
3.5.3 Procesparameters PC	39
3.6 Productanalyse	40
3.6.1 Glansmeting.....	40
3.6.2 Ruwheidmeting	42
3.6.3 Microscopie	45

3.6.4 Trekproef	46
4. Resultaten & Discussie	47
4.1 Vloeilijnsterkte	47
4.2 Oppervlaktekwaliteit	59
5. Besluit.....	67
Bronnen	69
Lijst van bijlagen	71
1. ISO 527-1/1A	72
2. Tempereerapparaten HB-THERM Thermo-5.....	73
3. POLYCARBONAAT MAKROLON 1260 (Bayer)	75
Eigenschappen.....	75
Voordelen	76
Nadelen	76
4. POLYCARBONAAT ACRYLONNITRIL BUTADIEEN STYREEN BAYBLEND T65 HG (Bayer)	77
Eigenschappen.....	77
Voordelen.....	78
Nadelen	78
5. DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY.....	79
Principe.....	79
Werkwijze.....	79
6. CAPILLAIRE RHEOMETER	80
Principe.....	80
Werkwijze.....	80
Toepassingen.....	80
7. BYK GARDNER MICRO TRI-GLOSS.....	81
8. DIAVITE COMPACT II.....	82
9. QUASAR 50	83

Lijst van tabellen

Tabel 1: Kenmerken van de spuitgietmachine	27
Tabel 2: Procesparameters voor PC ABS stalen met een vloeilijn	38
Tabel 3: Procesparameters voor PC ABS stalen zonder een vloeilijn.....	38
Tabel 4: Procesparameters voor PC stalen met een vloeilijn.....	39
Tabel 5: Procesparameters voor PC stalen zonder een vloeilijn	39
Tabel 6: Vloeilijnsterkte trekstaafjes PC ABS.....	47
Tabel 7: Vloeilijnsterkte trekstaafjes PC.....	48
Tabel 8: Glans trekstaafjes PC ABS	59
Tabel 9: Glans trekstaafjes PC	60

Lijst van figuren

Figuur 1: spuitgietmachine.....	19
Figuur 2: Inval door gestolde buitenhuid	20
Figuur 3: Temperatuurregeling CIM vs. VIM	21
Figuur 4: V-inkeping vloeilijn	22
Figuur 5: Vloeilijn CIM vs. VIM	23
Figuur 6: Visuele perceptie vloeilijn PC ABS i.f.v. de matrijstemperatuur en injectiesnelheid.....	24
Figuur 7: Reproduceerbaarheid caviteitoppervlak CIM vs. VIM	25
Figuur 8: spuitgietmachine (DEMAG ERGOTECH INTELECT 50/330-100)	27
Figuur 9: Matrijs trekstaafjes (links) + trekstaafjes ISO 527-1/1A (rechts)	29
Figuur 10: Matrijs kaartenhouder (links) + kaartenhouder (rechts)	30
Figuur 11: Tempereerapparaten (links) + kleppenstation (rechts) HB-THERM	31
Figuur 12: Vochtigheidsstrepen (Splay).....	32
Figuur 13: DSC grafiek PC ABS	33
Figuur 14: DSC grafiek PC	34
Figuur 15: Viscositeitcurve PC ABS & PC ($T_{smelt}=250^{\circ}\text{C}$).....	35
Figuur 16: Viscositeitcurve PC ABS & PC ($T_{smelt}=280^{\circ}\text{C}$).....	35
Figuur 17: Design Of Experiments (DOE).....	36
Figuur 18: Voorbeeld van braamvorming	37
Figuur 19: Meetgeometrie glansmeter	40
Figuur 20: Keuze meetgeometrie	40
Figuur 21: Oppervlakteprofiel (boven) + ruwheidsprofiel (onder)	42
Figuur 22: Digitale ruwheidmeter (DIAVITE Compact II).....	43
Figuur 23: R_t -waarde	43
Figuur 24: R_z -waarde	43
Figuur 25: R_a -waarde	44
Figuur 26: R_q -waarde vs. R_a -waarde	44
Figuur 27: Microscoop (KEYENCE VHX-500).....	45
Figuur 28: Een staal met zichtbare vloeilijn en v-inkepingen.....	45
Figuur 29: Trekbank (QUASAR 50).....	46
Figuur 30: Voorbeeld van trekcurven (PC)	46
Figuur 31: Vloeilijnsterkte i.f.v. sluitkracht (PC ABS).....	49
Figuur 32: Vloeilijnsterkte i.f.v. sluitkracht (PC)	50
Figuur 33: Vloeilijnsterkte i.f.v. nadruk (PC ABS)	51
Figuur 34: Vloeilijnsterkte i.f.v. nadruk (PC).....	52
Figuur 35: Vloeilijnsterkte i.f.v. injectiesnelheid (PC ABS)	53
Figuur 36: Vloeilijnsterkte i.f.v. injectiesnelheid (PC).....	54
Figuur 37: Vloeilijnsterkte i.f.v. matrijstemperatuur (PC ABS).....	55
Figuur 38: Vloeilijnsterkte i.f.v. matrijstemperatuur (PC)	56
Figuur 39: Treksterkte PC ABS stalen (met vs. zonder vloeilijn).....	57
Figuur 40: Treksterkte PC stalen (met vs. zonder vloeilijn).....	58
Figuur 41: Glans i.f.v. matrijstemperatuur	61
Figuur 42: Trekstaafjes met defecten (PC ABS links en PC rechts).....	62
Figuur 43: Trekstaafjes zonder defecten (PC ABS links en PC rechts).....	62
Figuur 44: Zichtbaarheid van de vloeilijn (CIM links en VIM rechts).....	63

Figuur 45: R_q -waarde glad oppervlak (PC ABS)	64
Figuur 46: R_q -waarde ruw oppervlak (PC ABS)	64
Figuur 47: R_q -waarde glad oppervlak (PC).....	65
Figuur 48: R_q -waarde ruw oppervlak (PC ABS)	65
Figuur 49: Differential Scanning Calorimetry	79
Figuur 50: Capilaire reometer	80

Verklarende woordenlijst

CIM = Conventional Injection Molding (conventioneel spuitgieten)

DSC = Differential Scanning Calorimetry

DOE = Design Of Experiments

FR = Flow rate (injectiesnelheid)

F_{sluit} = Sluitkracht matrijs

p_{pack} = Packing pressure (nadruk)

RHCM = Rapid Heat Cycle Molding (variotherm spuitgieten)

T_g = Glastransitietemperatuur polymeer

T_{smelt} = Smelttemperatuur spuitgieten

T_{mold} = Matrijstemperatuur

VIM = Variothermal Injection Molding (variotherm spuitgieten)

Abstract

Deze masterproef legt de focus op de optimalisatie van de optische en mechanische eigenschappen van de vloeilijn van variotherm gespuitsgiete producten. Dit gebeurt in het kader van lopend onderzoek op Cel Kunststoffen en past binnen de onderzoeksfocus op innovatieve spuitgiettechnieken.

Procesparameters dienen bepaald te worden om kwalitatieve producten met een hoogwaardig uiterlijk en sterke, onzichtbare vloeilijnen te spuitgieten. Er wordt getracht een vloeilijnsterkte te bekomen die minimaal 70% van de materiaalsterkte bedraagt.

Er wordt een design of experiments uitgevoerd om de invloed van de sluitkracht, de matrijstemperatuur, de nadruk en de injectiesnelheid op de productkwaliteit te controleren. De gespuitsgiete stalen worden getest op mechanische en visuele eigenschappen.

De conclusie van het onderzoek is dat een geschikte sluitkracht de oppervlaktekwaliteit en de vloeilijnsterkte van het product verbetert door een betere ontluchting en bijgevolg lagere weerstand. De PC ABS blend is gevoelig voor zowel een hoge vloeiveerstand als injectiesnelheid omdat ontmenging of delaminatie kan optreden. De vloeilijn van PC stalen wordt sterker bij een toename van de injectiesnelheid. Om de vloeilijn onzichtbaar te maken en om een goede kopie van ieder oppervlak te bekomen moet de matrijs tot boven de glastransitietemperatuur van PC verhit worden. De nadruk moet minimaal 90% van de injectiedruk bedragen om krimp optimaal te compenseren.

Summary

This master's thesis focuses at the optimization of the optical and mechanical properties of the weld lines from variotherm injection molded products. This occurs in the context of ongoing research in 'Cel Kunststoffen' (research group on polymers) and fits within the research focus on innovative injection molding techniques.

Process parameters need to be determined to injection mold quality products with a high worthy look and strong, invisible weld lines. The aim is to achieve at least a weld line strength of 70% of the material strength.

A design of experiments is performed to check the influence of the clamping force, the mold temperature, the holding pressure and flow rate on the product quality. Subsequently the mechanical strength and visual characteristics of the injection molded samples are analyzed.

The conclusion of the research is that an appropriate clamping force improves the surface quality of the product because of a better venting of the mold and hence less resistance in the filling process. The PC ABS blend is sensitive for a higher flow resistance and flow rate because of the chance at segregation or delamination. The weld line of PC samples become stronger with an increase of the flow rate. To make the weld line invisible and get a good copy of each surface, the mold has to be heated above the glass transition temperature of the polymer. The packing pressure has to be at least 90% of the injection pressure to optimally compensate shrinkage.

1. Inleiding

1.1 Situering

Cel Kunststoffen, onderzoeksgroep van de KU Leuven en KHLim, richt zich op innovatieve spuitgiettechnieken en thermoformeren. Ze werken aan een efficiënte dienstverlening vanuit hun materiaalabo en proceshal en aan toegepast onderzoek in de kunststofverwerking om zo een bijdrage te leveren aan de kunststoffenindustrie. Momenteel lopen meerdere projecten, waaronder het onderzoek naar variotherm spuitgieten.

Het project van deze masterproef omvat het optimaliseren van de optische en mechanische eigenschappen van variotherm gespuitsgiete producten, met name het optimaliseren van de procesparameters om zo tot een betrouwbaar en efficiënt productieproces te komen.

Spuitsgieten is een proces waarbij granulaat (materiaal in korrelvorm) aangevoerd wordt vanuit een vultrechter waarna het gesmolten wordt in een elektrisch verwarmde cilinder met een schroef om zo een viskeuze massa te bekomen. Daarna wordt deze massa onder hoge druk in een gekoelde matrijs gespoten. De caviteit of matrijsholte bepaalt dus de vorm van het eindproduct. Dit proces is enkel zinvol voor hoge productieaantallen omwille van de hoge matrijskost.

Het variotherm spuitsgietproces is een uitbreiding op het conventioneel spuitsgieten, oftewel CIM en verschilt hiervan vooral in de oppervlakte-eigenschappen en mechanische eigenschappen van het eindproduct. In tegenstelling tot CIM, waarbij de matrijstemperatuur constant gehouden wordt door enkel te koelen, wordt bij VIM de matrijstemperatuur geregeld door zowel te verhitten als te koelen. Het verhitten van de matrijs voor injectie zorgt voor een verbetering van de vloeï. Dit leidt tot een verlenging van de vloeïweg bij producten met dunne wanddikten (kleiner dan 1,5mm). Bij een voldoende hoge matrijstemperatuur kan de zichtbaarheid van de vloeïlijn zodanig verminderd worden dat deze onzichtbaar wordt. Dit betekent echter niet altijd dat de vloeïlijn ook sterker is. Het productoppervlak wordt een betere kopie van het caviteit oppervlak en krijgt hierdoor een hoogwaardige glans indien de caviteit hoogglans gepolijst is. Het achteraf koelen van de matrijs zorgt voor het stollen van de kunststof. Bovendien is de matrijstemperatuur tijdens het koelen lager is dan bij CIM, hierdoor wordt de cyclustijd positief beïnvloed bij het maken van dikwandige producten.

1.2 Probleemstelling

Door de grote verscheidenheid aan kunststoffen met elk hun eigen verwerkingstemperatuur en eigenschappen is er heel wat kennis van het spuitgietproces en de procesparameters nodig.

Aangezien het VIM een relatief nieuw productieproces is, bestaat er nog geen procesvenster met de optimale procesparameters om een perfect afgewerkt product zonder defecten te bekomen. Het variotherm spuitgieten is echter zeer interessant om enkele nadelen van het conventioneel spuitgieten weg te werken. Zo treedt bij CIM vroegtijdige stolling van de smelt tegen de koude matrijswand op, waardoor residuele spanningen in het product ontstaan en de oppervlaktekwaliteit benadeeld wordt.

Maar door het gebrek aan dergelijke gegevens zijn bedrijven minder geïnteresseerd in VIM en blijven ze gebruik maken van het gekende CIM.

1.3 Doelstellingen

Na het voltooien van de masterproef moet er voldoende kennis bestaan over de procesparameters zodat er een procesvenster kan bepaald worden waarbinnen het spuitgietproces optimaal verloopt.

De eerste doelstelling is het bekomen van een betrouwbaar proces met een hoge reproduceerbaarheid van producten met een hoogwaardige glans.

Een tweede doelstelling is het produceren van kunststofproducten met een onzichtbare en voldoende sterke vloeilijn. Algemeen kunnen we stellen dat de vloeilijnsterkte 70% van de materiaalsterkte moet bedragen.

1.4 Materiaal en methode

De eerste stap in het onderzoek omvat het bepalen van thermische en reologische eigenschappen van zowel PC (Makrolon 1260) als PC ABS (Bayblend T65). Met behulp van een DSC toestel leggen we de glastransitietemperaturen van de polymeren vast, want om van VIM te mogen spreken moet de matrijstemperatuur tijdens het verhitten de T_g - waarde overstijgen. De gevonden waarden worden vergeleken met de glastransitietemperaturen in de literatuur en bijgevoegde datasheets. Enkele testen met een capillaire reometer maken duidelijk hoe de viscositeit varieert in functie van de afschuifsnelheden en aangelegde temperatuur. Dit is relevante info voor het eigenlijke spuitgietproces.

Een belangrijk onderdeel van de optimalisatie en tevens de tweede stap in het onderzoek is het uitvoeren van een design of experiments of kortweg DOE. Dit is een statistische ontwerpmethode die met behulp van experimenten producten en/of productieprocessen verbetert. Hierbij worden de belangrijkste procesparameters bepaald, waarna één parameter of in sommige gevallen een combinatie van parameters wijzigen, terwijl de overige constant gehouden worden. Door deze experimenten uit te voeren, krijgt men inzicht in de effecten van de parameters. Het aantal parameters dat opgenomen zal worden in het DOE is afhankelijk van het aantal niveaus waarop men wilt testen. In dit geval worden vier parameters met elk twee of drie niveaus (hoog en laag) geïmplementeerd in het DOE. De gekozen parameters zijn matrijstemperatuur, injectiesnelheid, nadruk en sluitkracht van de matrijs. Van iedere parameterset worden 10 stalen gespuitspuitgiet.

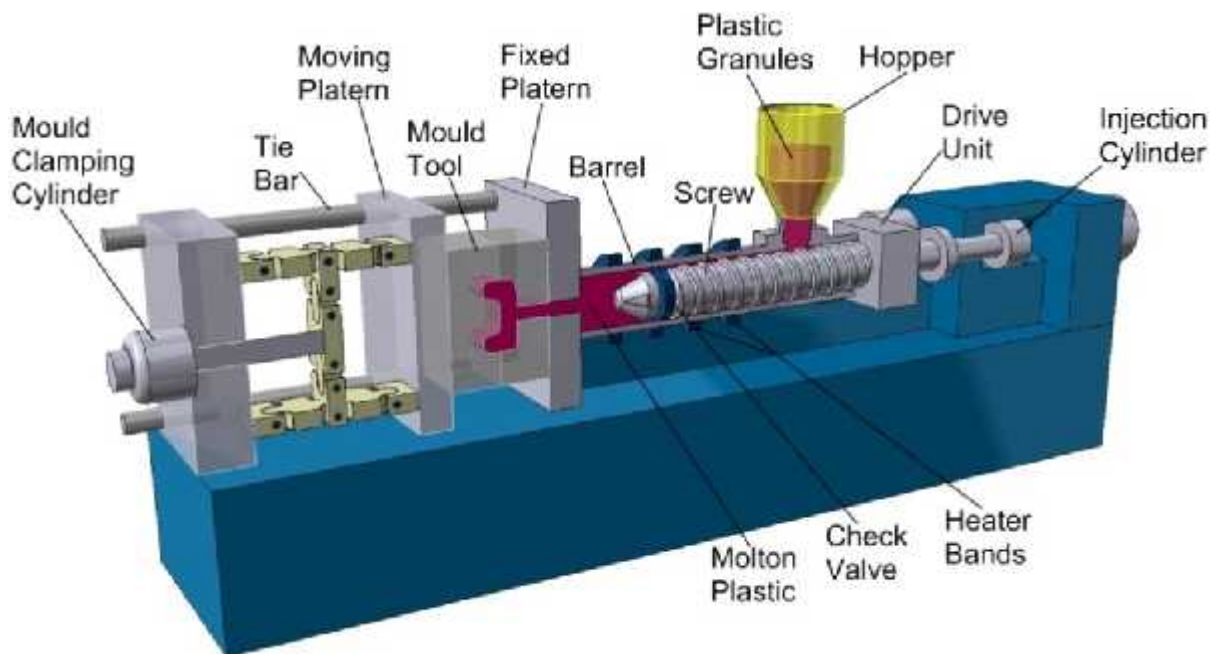
In de laatste stap worden de optische en de mechanische eigenschappen van de gespuitspuitgiete producten getest. De glans en ruwheid worden gemeten en er wordt gezocht naar een relatie tussen de glans en de ruwheid van het staal en die van de matrijsholte. Met een microscoop analyseren we de vloeilijn. Om af te sluiten wordt een trektest uitgevoerd, hiermee controleren we in welke mate de treksterkte toe- of afneemt.

De opgedane kennis van de reologische en thermische testen, tezamen met de resultaten van de design of experiments uitgevoerd op beide matrijzen en de resultaten van de testen op de stalen zullen leiden tot een geoptimaliseerd variotherm spuitgietproces.

2. Literatuurstudie

2.1 Spuitgietscyclus

Een spuitgietsmachine (figuur 1) bestaat uit drie grote onderdelen, namelijk de injectie-eenheid, de sluiteenheid en de matrijs. De injectie-eenheid bestaat uit een elektrisch verwarmde cilinder met een schroef en een hopper die gevuld wordt met granulaat (materiaal in korrelvorm). De sluiteenheid is een hydraulische cilinder of een kniegewricht, die de matrijs gesloten houdt tijdens het injecteren van de smelt. De benodigde sluitkracht is afhankelijk van de injectiedruk en het geprojecteerd oppervlak en bepaalt mede de grootte van de machine.

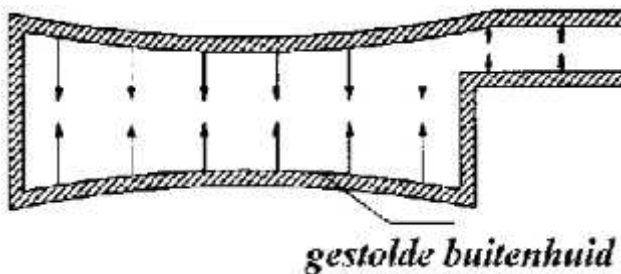


Figuur 1: Spuitgietsmachine [1]

De draaiende beweging van de schroef onttrekt granulaat van de hopper. Ten gevolge van wrijving met de cilinderwand en de verwarmingselementen, zullen de kunststofkorrels een viskeuze smelt vormen. Daarna wordt deze massa onder hoge druk in een gekoelde matrijs gespoten. De caviteit of matrijsholte geeft hierbij de vorm van het eindproduct aan. Zodra de matrijs volledig gevuld is en het koelproces start, wordt er eerst nog volgens een ingestelde tijd nagedrukt om eventuele krimp te compenseren. Wanneer het product uitgehard is, wordt deze met behulp van een robot of uitstootmechanisme uit de matrijs verwijderd.

2.2 Conventioneel vs. Variotherm spuitgieten

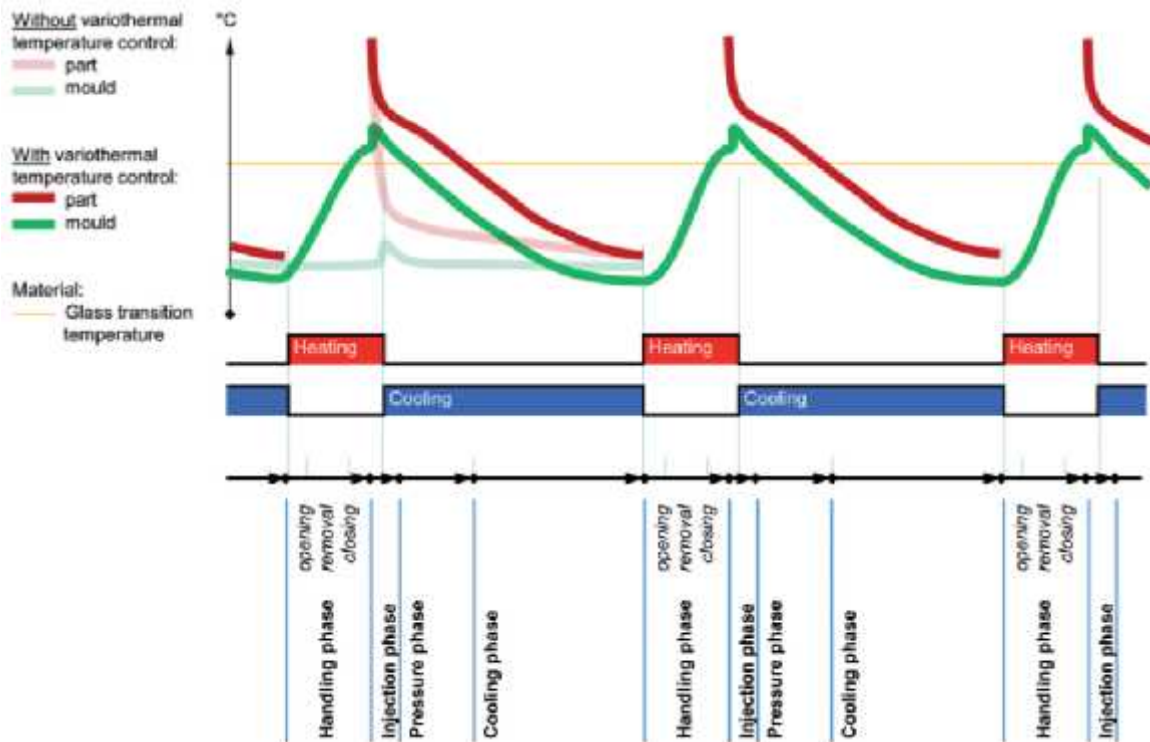
Bij het conventioneel spuitgieten wordt doorheen de volledige cyclus de matrijs gekoeld om een min of meer constante temperatuur te behouden. Om echter een hoge productiviteit aan te houden en de kosten te drukken moet de matrijstemperatuur ver beneden de glastransitietemperatuur of smelttemperatuur van het polymeer gehouden worden [2-3]. Hierdoor zal echter vroegtijdige stolling van de smelt tegen de koude matrijswand optreden waardoor de vloe weerstand toeneemt en het vullen van de matrijs moeilijker verloopt. De gestolde buitenwand (figuur 2) is de hoofdoorzaak voor oppervlaktefouten en een lage mechanische sterkte, maar ook voor de residuele spanningen in het product waardoor het product kan kromtrekken of inval vertoont. Om dergelijke problemen op te lossen is het rapid heat cycle molding (RHCM) of variotherm spuitgieten ontwikkeld.



Figuur 2: Inval door gestolde buitenhuid [4]

De oppervlaktekwaliteit van variotherm gespuitsgiete producten kan zodanig verbeterd worden, dat nabewerkingen zoals schuren en verven die meestal noodzakelijk zijn voor conventioneel gespuitsgiete producten overbodig worden [5]

Het verschil tussen variotherm spuitgieten en het conventionele spuitgieten bevindt zich in de temperatuurregeling van de matrijs [5]. In tegenstelling tot CIM, waarbij de matrijstemperatuur constant gehouden wordt, wordt bij VIM de matrijstemperatuur geregeld door zowel te verhitten als te koelen (figuur 3). Het is hierbij belangrijk om de verhitting- en koeltijd te beperken, zodat de cyclustijd zo laag mogelijk is.



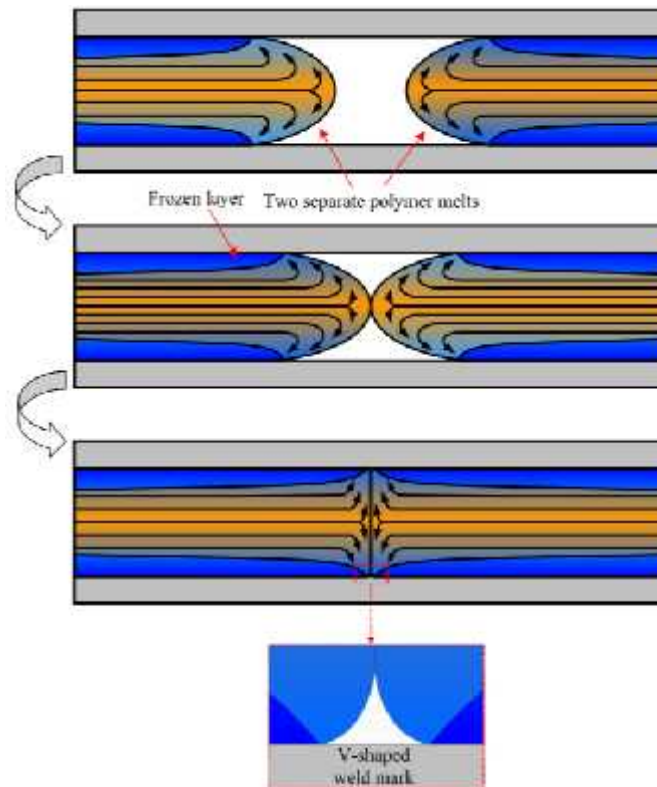
Figuur 3: Temperatuurregeling CIM vs. VIM [6]

Het verhitten van de matrijs start zodra de matrijs opent voor een product uit te werpen. Door de matrijs te verhitten voor en tijdens het injecteren wordt vroegtijdige stolling van de smelt tegen de matrijswand vermeden, wat leidt tot een verlenging van de vloeiweg specifiek voor dunwandige producten. Het temperatuurapparaat voor het verhitten van de matrijs wordt gewoonlijk ingesteld op een waarde hoger dan de glastransitie- of smelttemperatuur van het polymeer, afhankelijk van het gebruikte polymeer, dat amorf of semikristallijn kan zijn. Ook het koelen van de matrijs verschilt voor beide methoden. De matrijstemperatuur tijdens het koelen van de matrijs is lager dan bij CIM, bijvoorbeeld 70 graden Celsius in plaats van 100 graden Celsius. Dit resulteert in snellere koeltijden en dus kortere cyclustijden bij het maken van dikwandige producten.

2.3 Vloeilijn

Een veel voorkomend probleem bij spuitgietproducten is de aanwezigheid van een vloeilijn. Deze ontstaat wanneer twee vloeifronten elkaar ontmoeten en aan elkaar hechten. De hechting verloopt echter moeilijk doordat de koudere matrijswand de temperatuur van de smelt verlaagt, waardoor de vloeilijn zichtbaar wordt met als typisch kenmerk de v-inkeping (figuur 4).

De voornaamste oorzaak voor het ontstaan van de v-inkeping wordt toegewezen aan de compressie van lucht tegen de matrijswand wanneer de vloeifronten elkaar ontmoeten [7]. De zwakte van de vloeilijn wordt dan weer toegewezen aan het bestaan van de v-inkeping, de moleculaire oriëntatie en een slechte moleculaire verdeling aan de vloeilijn [8]. De vloeilijnsterkte wordt bepaald door de materiaalkeuze, het matrijsontwerp en de procesparameters [9].

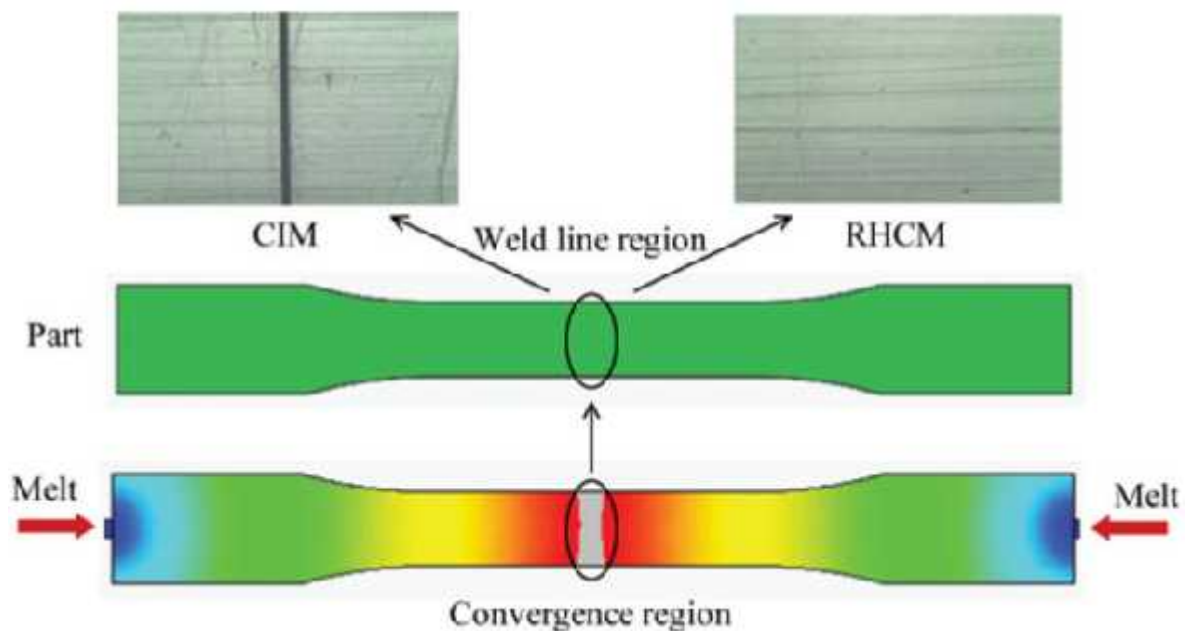


Figuur 4: V-inkeping vloeilijn [5]

Katsuyuki Yokomizo et al. [10] deden onderzoek naar de invloed van materiaaleigenschappen en wijten de zwakte van de vloeilijn aan een te hoog moleculair gewicht of een grote spreiding van het moleculair gewicht. T. Tjäder et al. [7] beweren dan weer tegenstellend dat de vloeilijn sterker wordt door een hoger moleculair gewicht omdat zo de moleculaire verstrengeling toeneemt. Amorphe polymeren hebben over het algemeen een sterkere vloeilijn dan semi-kristallijne polymeren door hun hoger moleculair gewicht en omdat de ketens meer verstrengelen [9].

Het matrijsontwerp bepaalt de ligging en grootte van de vloeilijn. Belangrijk is de matrijs goed te ontluchten, want ingesloten lucht zorgt ervoor dat de vloeifronten moeilijk kunnen hechten en de v- inkepingen worden groter. Daarom moet ook de sluitkracht van de matrijs beperkt worden, zodat de lucht steeds kan ontsnappen [9].

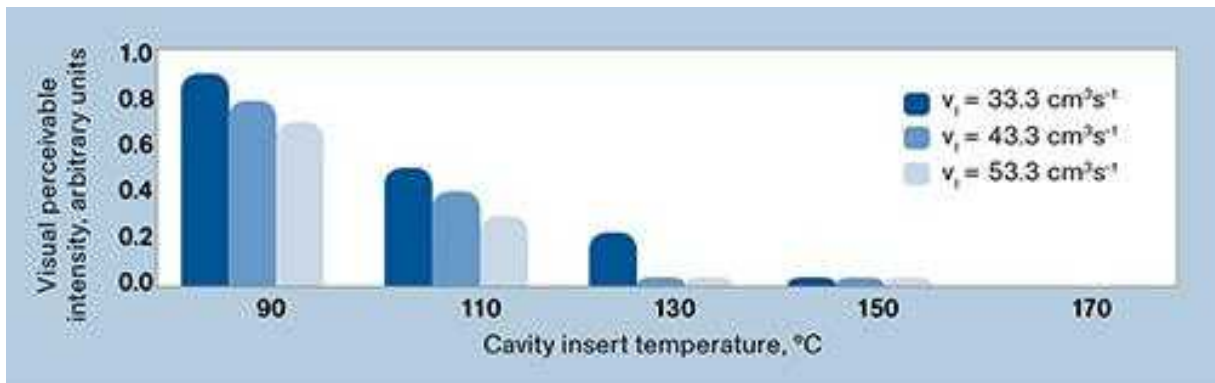
Van alle onderzochte procesparameters in de literatuur zijn de smelt- en matrijstemperatuur de meest significante parameters. Een hogere smelttemperatuur en matrijstemperatuur zorgt niet enkel voor lagere residuele spanningen, maar ook voor een betere diffusie van de moleculaire ketens en een betere hechting van de vloeifronten zodat de vloeilijn minder zichtbaar en sterker wordt [12]. Indien de matrijstemperatuur hoog genoeg is, zoals bij het variotherm spuitgieten, kan de vloeilijn volledig onzichtbaar gemaakt worden (figuur 5). Voor een blend is het probleem meer complex doordat het verhogen van de smelttemperatuur voor ontmenging kan zorgen [11].



Figuur 5: Vloeilijn CIM vs. VIM [13]

John W. Bozzelli [9] verklaart dat het laten toenemen van de smelttemperatuur voor een toename van vluchtige stoffen afkomstig van het polymeer kan zorgen, waardoor de vloeilijnsterkte afneemt. G. Wang et al. [14] beweren dat de toename van de matrijstemperatuur niet voor alle polymeren tot sterkere vloeilijn leidt. Ook Kim en Suh [15] hebben aangetoond dat een verhoging van de smelttemperatuur de vloeilijnsterkte van sommige polymeren kan verlagen.

Toename van de injectiesnelheid zorgt voor een lagere viscositeit van de smelt en minder warmteverlies aan de koudere matrijswand, maar ook voor een hogere injectiedruk waardoor de binding van de vloeifronten sterker is. Een bijkomend voordeel van een hogere injectiesnelheid is dat de vloeilijn reeds bij een lagere matrijstemperatuur niet meer waarneembaar is, zoals getoond wordt in figuur 6 [16].

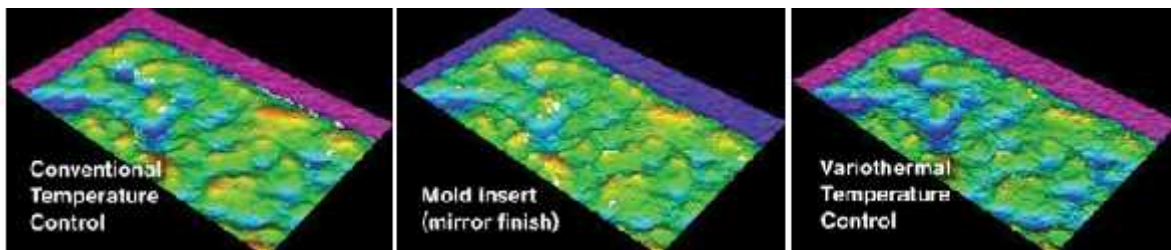


Figuur 6: Visuele perceptie vloeilijn PC ABS i.f.v. de matrijstemperatuur en injectiesnelheid [16]

Een hoge nadruk zorgt voor een goede inter-moleculaire binding en het compenseren van krimp, waardoor de sterkte van de vloeilijn in beperkte mate positief beïnvloedt wordt. Chun-Sheng Chen et al. [12] stellen echter vast dat de nadruk beperkt moet worden aangezien anders de moleculaire verdeling negatief beïnvloedt wordt en residuele spanningen toenemen. Het verhogen van nadruktijd heeft ook een positieve invloed op de vloeilijnsterkte omdat zo alle krimp gecompenseerd wordt [9].

2.4 Oppervlaktekwaliteit

Een bijkomend voordeel van het variotherm spuitgieten is dat het productoppervlak een betere kopie van de matrijsholte wordt (figuur 7), waardoor deze een hoogwaardige glans krijgt indien de matrijsholte een lage ruwheidswaarde heeft [16]. Glans is een eigenschap die afhankelijk is van de brekingsindex van het polymeer, de invalshoek en de topografie van het oppervlak [17]. De topografie en bijgevolg ook de glans van gespuitsgiete producten is op zijn beurt afhankelijk van de afwerking van de matrijs en van de behaalde reproduceerbaarheid.



Figuur 7: Reproduceerbaarheid caviteitoppervlak CIM vs. VIM[16]

De reproduceerbaarheid of de mate waarin het productoppervlak het matrijsoppervlak overneemt wordt positief beïnvloedt door een lagere viscositeit van de smelt zodat zelfs de kleinste oneffenheden in het matrijsoppervlak overgenomen worden door de smelt. De viscositeit van de smelt kan verlaagd worden door een hogere injectiesnelheid, smelttemperatuur en matrijstemperatuur. Om optredende krimp te compenseren is het belangrijk om voldoende na te drukken.

Omwille van de uitstekende reproduceerbaarheid en oppervlaktekwaliteit is het variotherm spuitgietproces uitermate geschikt voor het spuitgieten van onder andere GSM-covers, TV-schermen en dashboardonderdelen van auto's.

3. Materiaal en Methode

3.1 Spuitgietmachine

De stalen worden gespoten op een volledig elektrische machine van DEMAG met een sluitkracht van 50 ton (500kN). De gegevens van de spuitgietmachine (figuur 8) staan vermeld in tabel 1.



Figuur 8: Spuitgietmachine (DEMAG ERGOTECH INTELECT 50/330-100)

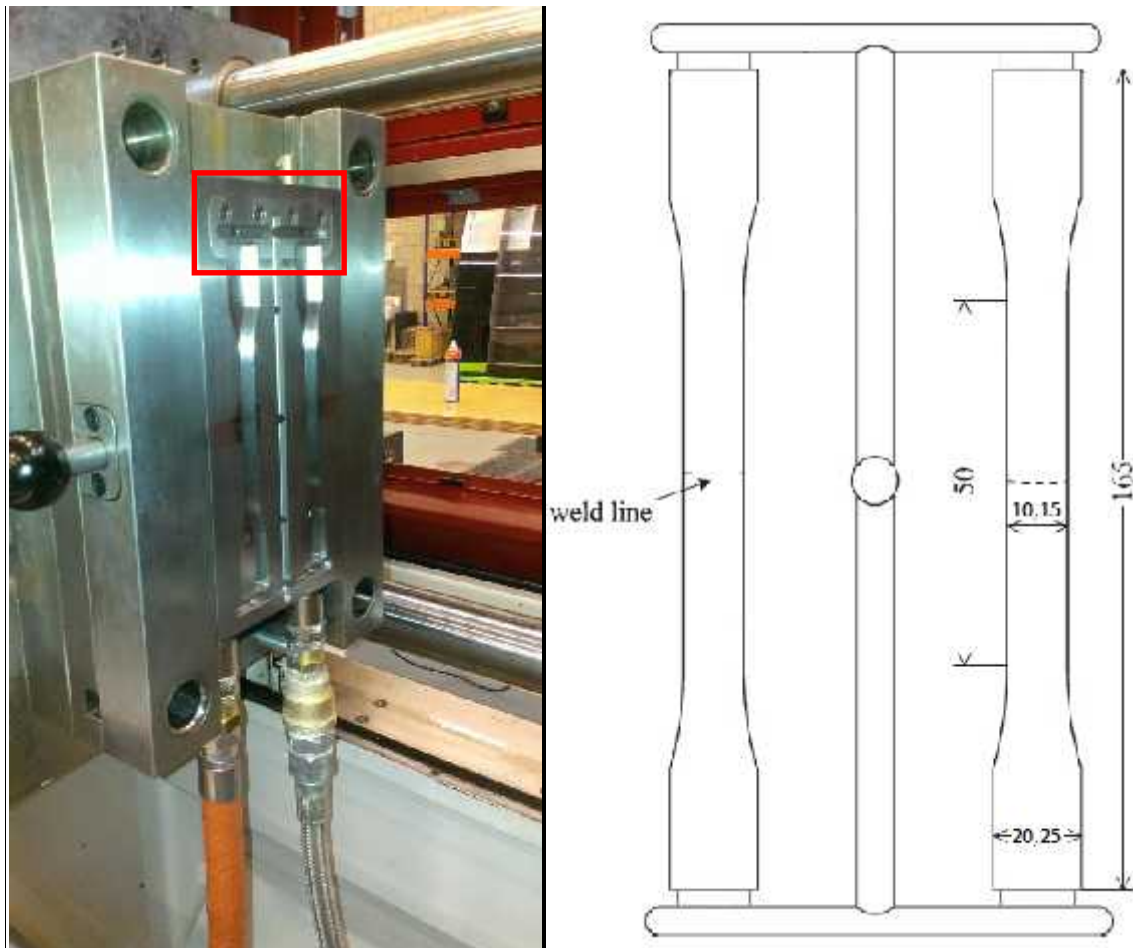
Tabel 1: Kenmerken van de spuitgietmachine

Spuiteenheid		
Schroefdiameter	22	mm
Schroeflengte standaard	20	L/D
Plastificeeropbrengst standaard	6.7	g/s
Doseerlengte	105	mm
Schroeftoerental	-	tr/min
Inspuitstroom	112	cm ³ /s
Maximaal slagvolume	39	cm ³
Specifieke spuitdruk	2580	bar
Slag spuitneus	200	mm
Perskracht spuitneus	30	kN
Verwarmingsvermogen	5.1	kW
Aantal verwarmingszones	4	-

Sluiteenheid		
Sluitkracht	500	kN
Slag bewegende opspanplaat	260	mm
Kracht uitwerper	25	kN
Slag uitwerper	80	mm
Minimale matrijshoogte	150	mm
Maximale afstand tussen platen	610	mm
Vergrootte opspanplaat	490 x 500	mm
Afstand tussen de holmen	330 x 330	mm
Droogloop (Euromap 6) ~slag	1.35 ~ 231	sec ~ mm
Aandrijving		
Direct drive motoren	-	-
Gewicht		
Netto (zonder olie)	3300	kg
Afmetingen		
Lengte x breedte x hoogte	3.97 x 1.19 x 1.79	m

3.2 Matrijzen

De eerste matrijs beschikt over twee identieke matrijsholtes (figuur 9) voor het spuitgieten van genormeerde trekstaafjes (ISO 527-1/1A, zie bijlage 1). Het al dan niet plaatsen van een obstructie bovenaan (rode kader) bepaalt of de trekstaafjes met of zonder vloeilijn geproduceerd worden.



Figuur 9: Matrijs trekstaafjes (links) + trekstaafjes ISO 527-1/1A (rechts)

Een totale cyclus voor het spuitgieten van de trekstaafjes neemt 70 seconden in beslag. Zodra de matrijs opent voor het uitwerpen van een product wordt de matrijs gedurende 26 seconden voorverhit. Hierna volgt de injectie van de smelt, dit duurt 1 à 2 seconden, afhankelijk van de ingestelde injectiesnelheid. Ondertussen start het koelen van de matrijs gedurende 44 seconden en wordt er voor 12 seconden nagedrukt om de krimp te compenseren. Tijdens het koelproces wordt opnieuw granulaat gedoseerd voor de volgende cyclus. Wanneer het product volledig gestold is opent de matrijs voor het uitwerpen van het product en kan een nieuwe cyclus gestart worden.

De tweede matrijs (figuur 10) heeft een enkelvoudige caviteit voor het spuitgieten van een kaartenhouder (figuur 10). Hierbij is het oppervlak deels mat/ruw en deels glanzend/glad afgewerkt. De ruwheid van het ruwe gedeelte bedraagt minimaal 0.4 micrometer terwijl de ruwheid van het gepolijste gedeelte lager is dan 0.2 micrometer. Stalen die gespuitsgiet worden met behulp van deze matrijs ondergaan enkel een ruwheidsmeting om na te gaan in hoeverre de ruwheid van de caviteit overgenomen wordt.



Figuur 10: Matrijs kaartenhouder (links) + kaartenhouder (rechts)

Een variotherm cyclus voor het spuitgieten van de kaartenhouder duurt 32 seconden, waarbij de voorverhittingstijd van de matrijs 19 seconden bedraagt en het koelen van de matrijs voor het stollen van het product 13 seconden in beslag neemt.

3.3 Tempereerapparaten

De variotherm matrices wordt verhit en gekoeld door middel van twee afzonderlijke tempereerapparaten (figuur 11) van HB-THERM [18] met een debiet van 10l/min. Het schakelen tussen de verhitting- en koelunit gebeurt met behulp van het persluchtgestuurde kleppenstation. De maximale gebruikstemperatuur van deze units bedraagt 180 graden Celsius (zie bijlage 2).



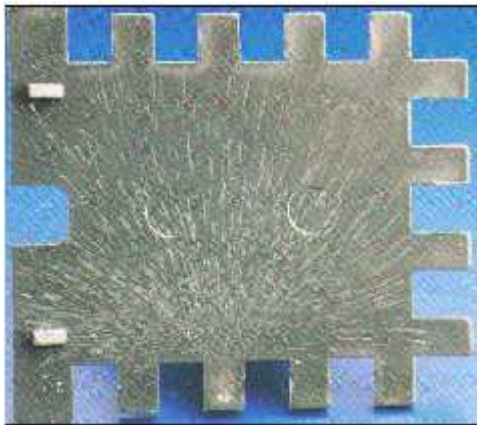
Figuur 11: Tempereerapparaten (links) + kleppenstation (rechts) HB-THERM [18]

3.4 Polymeren

De polymeren gebruikt in het onderzoek zijn PC Makrolon 1260 (zie bijlage 3) en PC ABS Bayblend T60 85 (zie bijlage 4), beide amorf en geproduceerd door Bayer. PC heeft als belangrijkste nadelen een hoge smeltviscositeit en v-inkeping gevoeligheid [11]. Deze nadelen worden weggewerkt door het toevoegen van ABS, zodat een PC ABS blend bekomen wordt. Het gebruik van zowel een homopolymeer als een heterogeen mengsel van polymeren (blend) zal eventuele verschillen relevant voor het onderzoek duidelijk moeten maken. Beide materialen worden vaak toegepast in de industrie wat het gebruik van deze polymeren in het onderzoek verklaard.

Beide polymeren zijn echter hygroscopisch en trekken dus vocht aan. Vocht is een polaire verbinding en wordt aangetrokken door de polaire atomen van PC en ABS [19]. Om deze reden moeten de korrels ongeveer drie uur gedroogd worden aan 100 graden Celsius om het vocht te verwijderen vooraleer ze verwerkt kunnen worden.

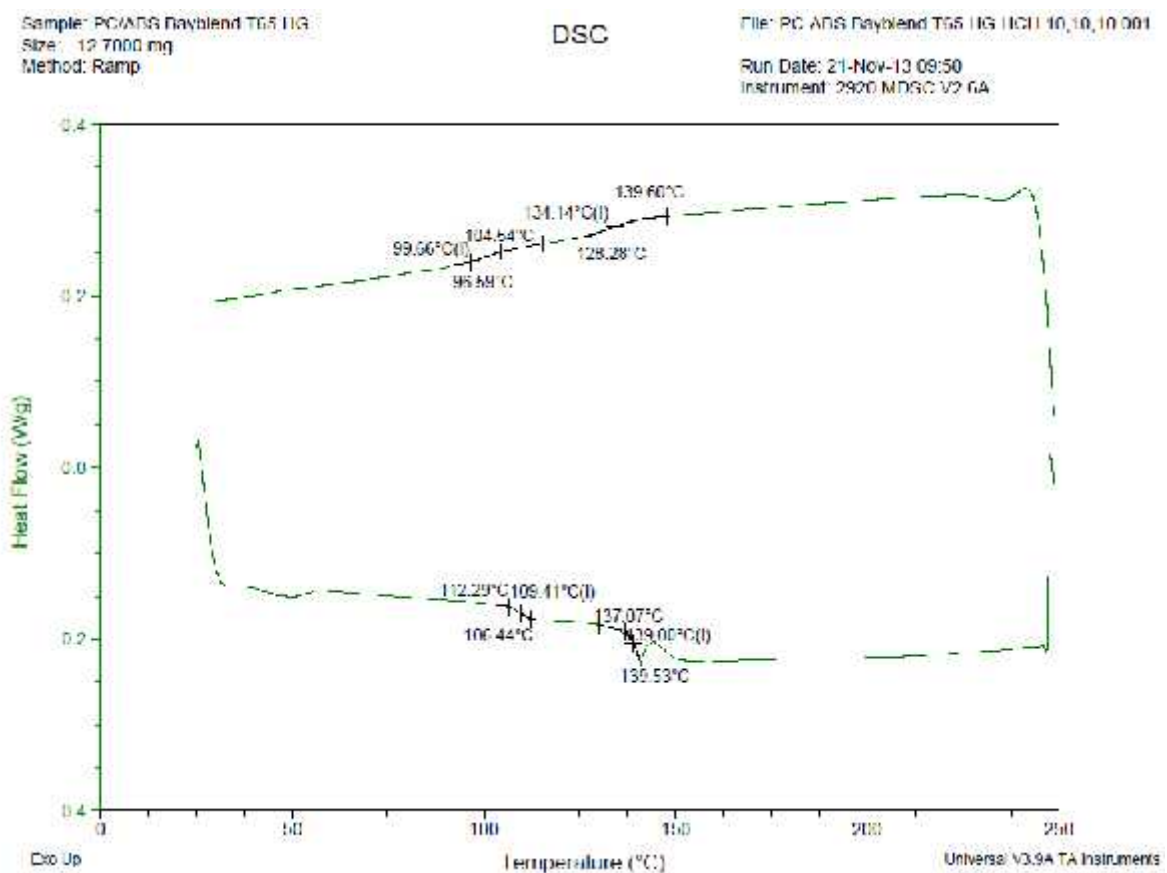
ABS op zich kan in principe verwerkt worden zonder het drogingproces, maar het vocht zal in de verwarmde injectie-eenheid stoom vormen en vochtigheidsstrepen (figuur 12) veroorzaken. Wanneer PC met vocht verwerkt wordt treedt echter een chemische reactie op, die lange ketens breekt tot kortere ketens waardoor de mechanische eigenschappen slechter worden. Die kortere ketens vloeien beter, waardoor de viscositeit van de smelt schommelt. Vochtigheidsstrepen zijn bij een beperkte aanwezigheid van vocht niet altijd zichtbaar en de mechanische eigenschappen op kamertemperatuur zijn voldoende, maar bij hogere temperaturen zal het product falen.



Figuur 12: Vochtigheidsstrepen (Splay) [2]

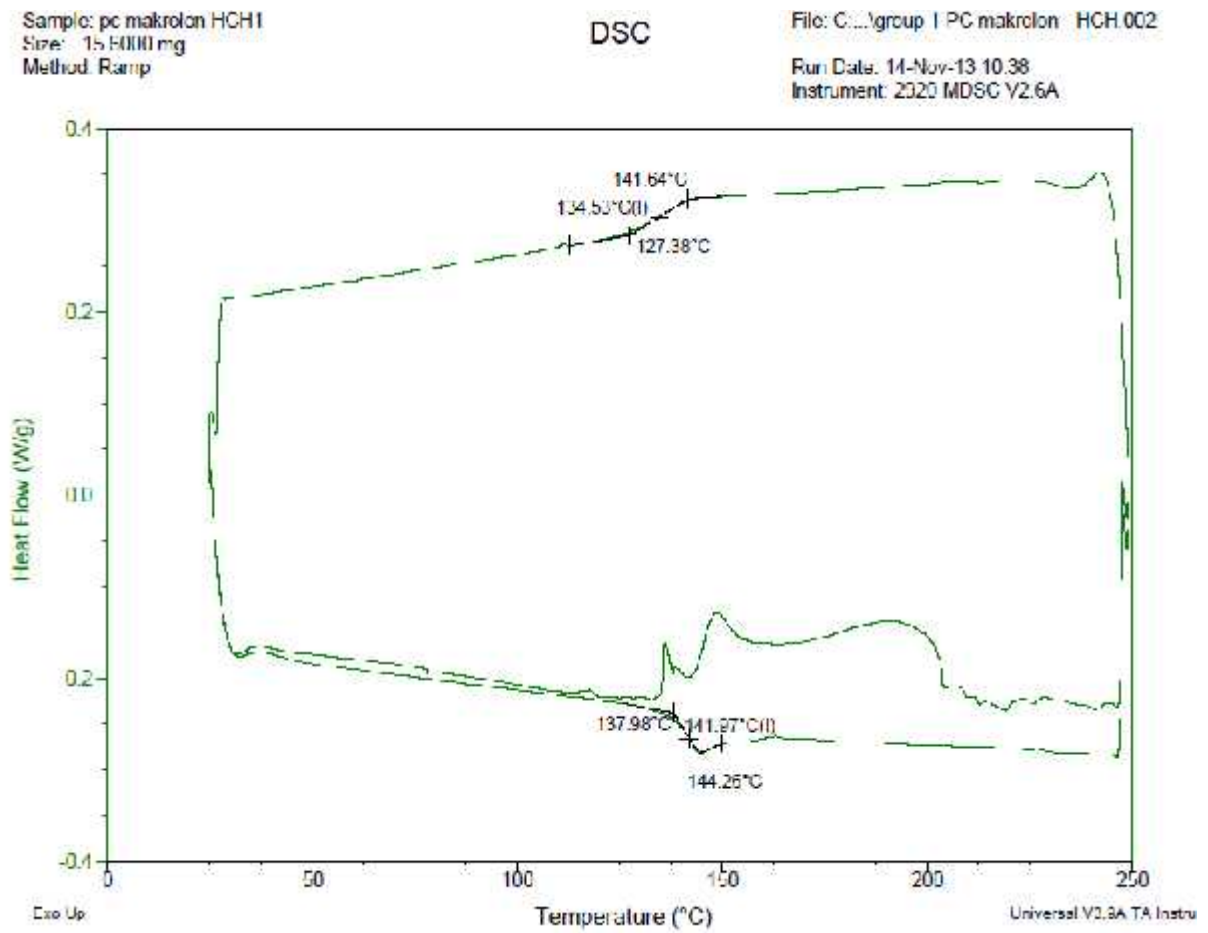
3.4.1 Vooranalyse

Voorafgaand aan het spuitgieten van de stalen worden eigenschappen van de polymeren bepaald die relevant zijn voor het variotherm spuitgieten. Met behulp van een DSC toestel (zie bijlage 5) worden de glastransitietemperaturen van de polymeren bepaald. Om de viscositeit in functie van de afschuifnelheid te achterhalen wordt gebruik gemaakt van een capillaire reometer (zie bijlage 6). Voor PC ABS kunnen we uit onderstaande DSC grafiek (figuur 13) twee glastransitietemperaturen aflezen, dit is logisch want PC ABS is een heterogeen mengsel. De glastransitietemperaturen die we terug vinden zijn respectievelijk 106°C voor ABS en 139°C voor PC. In de literatuur vinden we een Tg van 105°C terug voor ABS en 142°C voor PC.



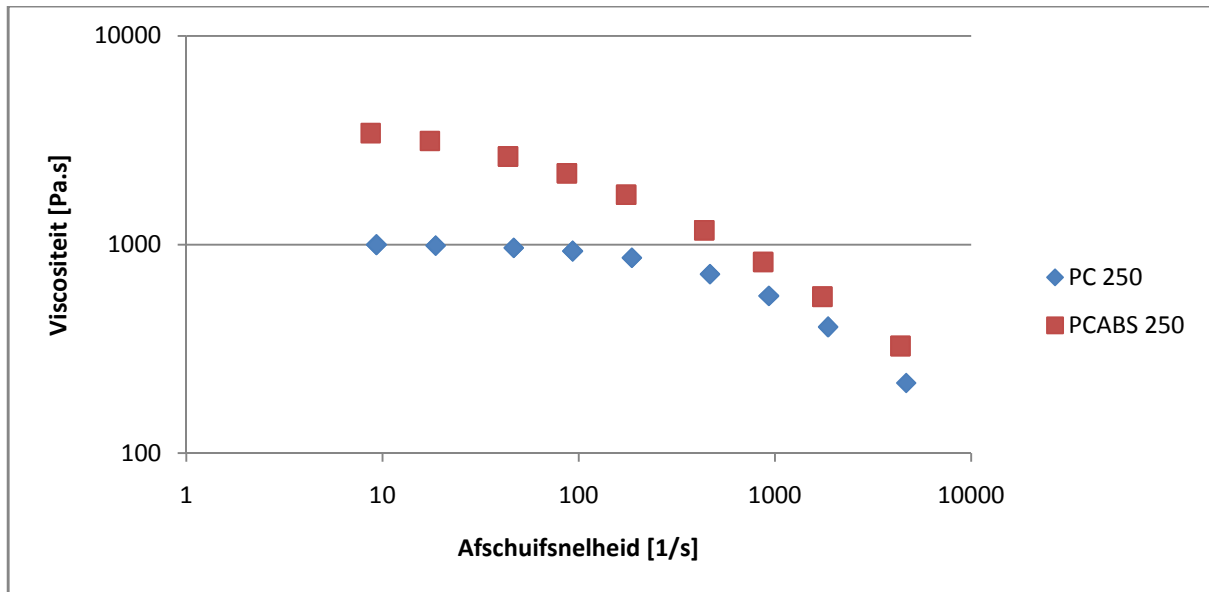
Figuur 13: DSC grafiek PC ABS

Figuur 14 is de DSC grafiek van PC. De glastransitietemperatuur bedraagt 142°C, wat overeenkomt met de waarde gegeven in de datasheet.

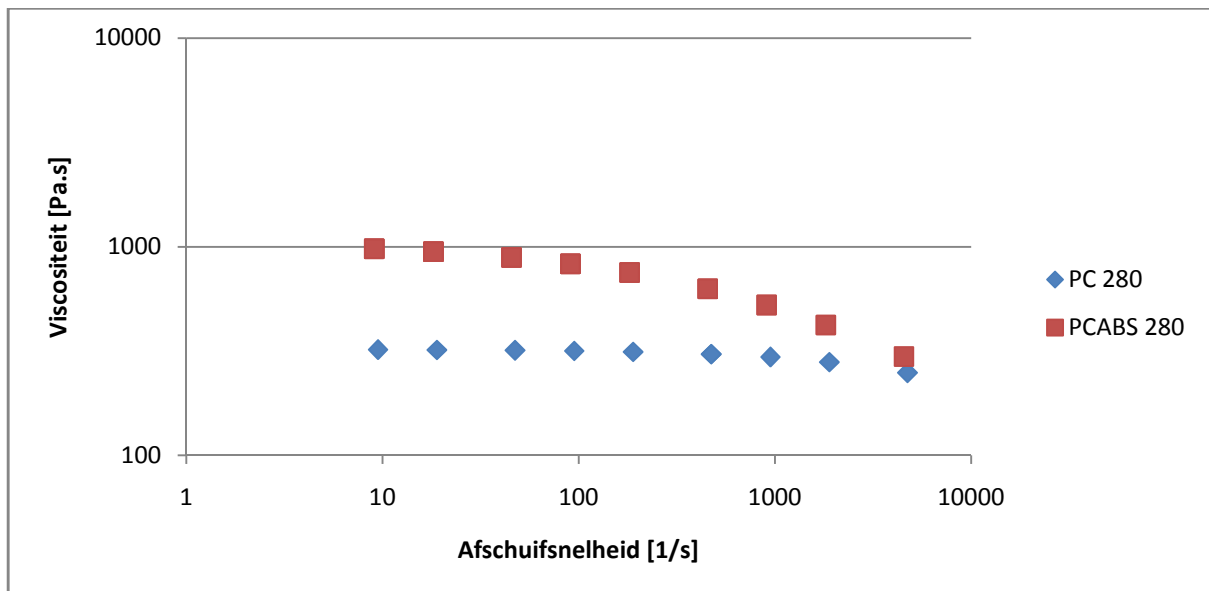


Figuur 14: DSC grafiek PC

Onderstaande grafieken (figuur 15-16) tonen de viscositeitcurven van PC en PC ABS bij een smeltemperatuur van 250°C en 280°C. Bij lagere afschuifsnelheden vloeit PC duidelijk beter, maar bij toenemende afschuifsnelheden krijgen beide polymeren gelijkaardige resultaten.



Figuur 15: Viscositeitcurve PC ABS & PC ($T_{smelt}=250^{\circ}\text{C}$)



Figuur 16: Viscositeitcurve PC ABS & PC ($T_{smelt}=280^{\circ}\text{C}$)

Doorheen alle testen wordt de smeltemperatuur constant gehouden. De smeltemperaturen bedragen respectievelijk 300°C voor PC en 260°C voor PC ABS. Lagere temperaturen zijn niet mogelijk omdat de smelt dan te viskeus is.

3.5 Design Of Experiments

Een belangrijk onderdeel van de optimalisatie is het uitvoeren van een design of experiments of kortweg DOE (figuur 17). Dit is een statistische ontwerpmethode die met behulp van experimenten producten en/of productieprocessen verbetert. Hierbij worden de belangrijkste procesparameters bepaald, waarna één parameter of in sommige gevallen een combinatie van parameters wijzigen, terwijl de overige constant gehouden worden. Door deze experimenten uit te voeren, krijgt men inzicht in de effecten van de parameters.



Figuur 17: Design Of Experiments (DOE)

3.5.1 Motivatie procesparameters

De procesparameters die geanalyseerd worden voor het variotherm spuitgietproces met betrekking tot de vloeilijn en oppervlaktekwaliteit van gespuitsgiete producten zijn de matrijstemperatuur (T_{mold}), de nadruk (p_{pack}), de injectiesnelheid (FR) en de sluitkracht van de matrijs (F_{sluit}).

De meest belangrijke procesparameter om te onderzoeken is zonder twijfel de matrijstemperatuur aangezien dit het enige praktische verschil tussen CIM en VIM is en omdat de literatuur aangeeft dat dit de meest invloedrijke parameter is. Indien stalen gespuitsgiet worden volgens het conventioneel spuitgietproces (CIM), bedraagt de matrijstemperatuur 85°C. Voor het variotherm spuitgietproces ligt de ondergrens op 100°C indien er gespuitsgiet wordt met de blend (PC ABS), zodat de glastransitietemperatuur van ABS 106°C benadert wordt. De middenwaarde bedraagt 145°C om de glastransitietemperatuur van PC te benaderen. De bovengrens ligt voor beide polymeren op 180°C, aangezien dit de maximale gebruikstemperatuur van de tempereerapparaten is. Voor het homopolymeer (PC) ligt de ondergrens op 145°C, met als tussenwaarde 160°C.

Nadruk is een belangrijke parameter voor het compenseren van krimp, waarvoor een bekende vuistregel stelt dat de nadruk ongeveer 60 procent van de injectiedruk moet bedragen. Omdat er op twee tot drie niveaus getest moet worden zal de nadruk variëren van 50% tot 70% en 90% van de injectiedruk. Lager dan 50% van de injectiedruk is niet mogelijk, de krimp kan dan totaal niet gecompenseerd worden. Hoger dan 90% is geen zinvolle waarde, want dan is de nadruk gelijk aan de injectiedruk. Een logische tussenstap is dus een nadruk die gelijk is aan 70% van de injectiedruk. Het omschakelpunt is zo gekozen dat de vloeifronten reeds contact maken alvorens omgeschakeld wordt op de nadruk om een krachtige binding te bekomen.

De injectiesnelheid wordt opgenomen in het DOE om na te gaan of de vloeilijnsterkte toeneemt door een verhoogde injectiedruk en kleiner warmteverlies van de smelt aan de matrijswand en om na te gaan of de vloeilijn reeds bij een lagere matrijstemperatuur verdwijnt bij een hogere injectiesnelheid. De maximale injectiesnelheid wordt zo gekozen zodat er geen drukpieken optreden. Deze drukpieken zijn toe te wijzen aan het gedrag van polymeren. Bij een trage belasting zal het polymeer zich taai gedragen, maar bij een snelle belasting zal het polymeer zich stijver gaan gedragen. Dus bij een te hoge injectiesnelheid, zal het polymeer zich zodanig stijf gaan gedragen, zodat er zich drukpieken voordoen.

De laatste parameter die geanalyseerd wordt is de sluitkracht van de matrijs, die op twee niveaus getest zal worden. De minimale sluitkracht bedraagt 350kN, onder deze waarde treedt braamvorming op (figuur 18), terwijl de maximale sluitkracht ingesteld wordt op 450kN, want de maximale sluitkracht van de machine bedraagt immers 500kN.



Figuur 18: Voorbeeld van braamvorming [2]

3.5.2 Procesparameters PC ABS

Tabel 2: Procesparameters voor PC ABS stalen met een vloeilijn

Stalen met vloeilijn				
Experimentnummer	Matrijstemperatuur	Nadruk	Injectiesnelheid	Sluitkracht
	T_{mold} (°C)	p_{pack} (%)	FR (mm/s)	F_{sluit} (kN)
1.1	100	60	150	450
1.2	100	90	150	450
1.3	100	60	100	450
1.4	100	90	100	450
1.5	145	60	150	450
1.6	145	90	150	450
1.7	145	60	100	450
1.8	145	90	100	450
1.9	180	90	100	350
1.10	145	90	100	350
1.11	100	90	100	350
1.12	145	90	75	350
1.13	145	90	50	350
1.14	85	90	100	350

Tabel 3: Procesparameters voor PC ABS stalen zonder een vloeilijn

Stalen zonder vloeilijn				
Experimentnummer	Matrijstemperatuur	Nadruk	Injectiesnelheid	Sluitkracht
	T_{mold} (°C)	p_{pack} (%)	FR (mm/s)	F_{sluit} (kN)
1.15	100	90	100	450
1.16	145	90	100	450
1.17	100	90	50	450
1.18	145	90	50	450

3.5.3 Procesparameters PC

Tabel 4: Procesparameters voor PC stalen met een vloeilijn

Stalen met vloeilijn				
Experimentnummer	Matrijstemperatuur	Nadruk	Injectiesnelheid	Sluitkracht
	T_{mold} (°C)	p_{pack} (%)	FR (mm/s)	F_{sluit} (kN)
2.1	145	50	50	450
2.2	145	70	50	450
2.3	145	90	50	450
2.4	160	50	50	450
2.5	160	70	50	450
2.6	160	90	50	450
2.7	145	50	75	450
2.8	145	70	75	450
2.9	145	90	75	450
2.10	160	50	75	450
2.11	160	70	75	450
2.12	160	90	75	450
2.13	145	50	100	450
2.14	145	70	100	450
2.15	145	90	100	450
2.16	160	50	100	450
2.17	160	70	100	450
2.18	160	90	100	450
2.19	160	90	100	350
2.20	180	90	100	350
2.21	85	90	100	350

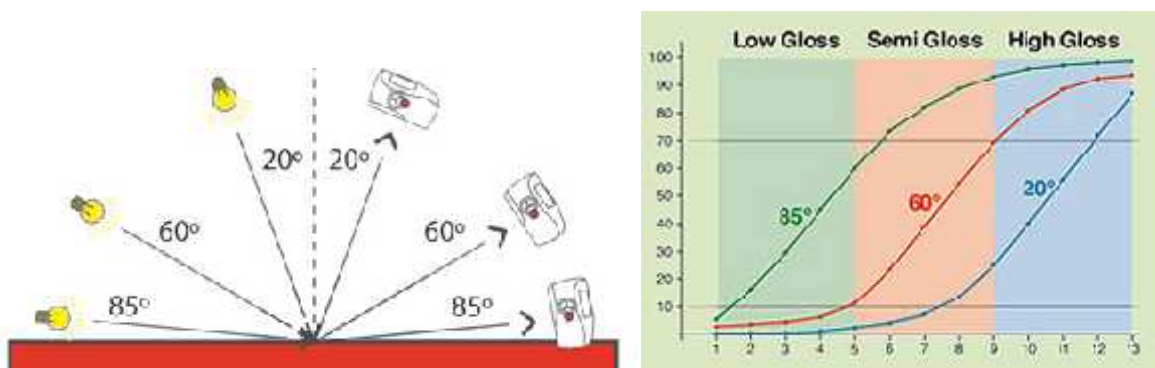
Tabel 5: Procesparameters voor PC stalen zonder een vloeilijn

Stalen zonder vloeilijn				
Experimentnummer	Matrijstemperatuur	Nadruk	Injectiesnelheid	Sluitkracht
	T_{mold} (°C)	p_{pack} (%)	FR (mm/s)	F_{sluit} (kN)
2.22	85	90	100	350
2.23	160	90	100	350
2.25	180	90	100	350

3.6 Productanalyse

3.6.1 Glansmeting

Een eerste eis gekoppeld aan de optimalisatie van het variotherm spuitgietsproces is het bekomen van hoogglanzende producten. Het meten van de glans gebeurt volgens een eenvoudig principe met behulp van een toestel van BYK GARDNER (zie bijlage 7) dat een lichtstraal onder drie verschillende hoeken uitzendt. Deze lichtstraal zal het productoppervlak raken onder een bepaalde hoek, 20, 60 of 85 graden afhankelijk van de meetgeometrie (figuur 19). Het oppervlak zal een deel van het licht absorberen, het overige deel wordt gereflecteerd. De hoeveelheid gereflecteerde straling wordt aangeduid met een getal dat gewoonlijk tussen 0 en 100 glanseenheden ligt en bepaalt hoe glanzend het product is. Een waarde hoger dan 100 glanseenheden is mogelijk indien het materiaal dat gemeten wordt een hogere brekingsindex heeft dan het materiaal waarmee de glansmeter gekalibreerd wordt.



Figuur 19: Meetgeometrie glansmeter [20]

Voor hoogglanzende producten is de 20 graden meetgeometrie de norm, terwijl voor laagglanzende producten de grootste hoek van 85 graden toegepast wordt. De 60 graden meetgeometrie dient voor normaalglanzende producten gebruikt te worden. Indien de glanswaarde gemeten met de 60° geometrie hoger is dan 70GE, dan is het oppervlak hoogglanzend en moet de 20° geometrie toegepast worden (figuur 20).

Gloss Range	60° value	To be measured with
Semi Gloss	10 to 70	60° geometry
High Gloss	>70	20° geometry
Low Gloss	< 10	85° geometry

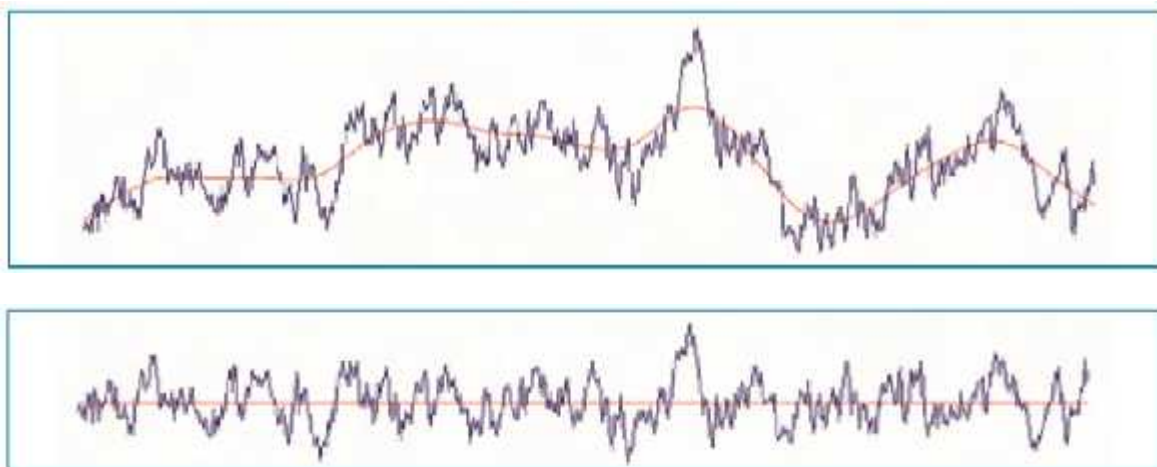
Figuur 20: Keuze meetgeometrie [20]

De meting van de glans gebeurt steeds op dezelfde plaats, namelijk in het gebied net langs de vloeilijn. Krimpholtes of luchtinsluitels kunnen de meting beïnvloeden, daarom wordt iedere meting tweemaal uitgevoerd en wordt hiervan het gemiddelde genomen. De positie van de glansmeter bij een tweede meting verschilt gering ten opzichte van de eerste meting, om zo de kans op een tweede beïnvloede meting te voorkomen.

3.6.2 Ruwheidmeting

Een ruwheidmeting van het oppervlak wordt uitgevoerd om na te gaan in welke mate het productoppervlak de ruwheid van de matrijsholte overneemt. Er is namelijk een verband tussen de ruwheid van een oppervlak en de glans. Des te egaler het productoppervlak, hoe meer glans het zal bezitten. Dit wil echter niet zeggen dat men geen hoogglanzende producten kan maken met een matrijs die een zeer ruw oppervlak heeft. Een viskeuze smelt zal nooit de microscopische structuur van het ruwheidsprofiel van een matrijs kunnen overnemen, hierdoor kan het gespuitsgiete product toch een glad en glanzend uiterlijk hebben.

De oppervlaktestructuur van de stalen bestaan uit een golavings- en een ruwheidsprofiel [21]. Om enkel het ruwheidsprofiel te meten wordt de golfing weggewerkt met behulp van elektronische filters (figuur 21). De ruwheid kan gedefinieerd worden als alle kleine oneffenheden van het oppervlak, waarbij deze oneffenheden een geringe diepte hebben en elkaar op zeer korte afstand opvolgen. Het is met andere woorden een microscopische eigenschap van het oppervlak. Golfing doet zich echter voor op macroscopische schaal, waarbij de onregelmatigheden optreden volgens een bepaalde periode. Hierbij is de golflengte van de oneffenheden duidelijk groter dan de amplitude.



Figuur 21: Oppervlaktestructuur (boven) + ruwheidsprofiel (onder) [22]

De digitale ruwheidsmeter van Diavite (figuur 22, zie bijlage 8) beschikt over drie verschillende filterkarakteristieken die gekenmerkt worden door een grensgolflengte (L_c) die correspondeert met de meetlengte. Voor het gladde oppervlak van de kaartjeshouder is een grensgolflengte van 0,08mm aanbevolen, terwijl het meer ruwe oppervlak een grensgolflengte van 0,25mm nodig heeft [22]. Omdat de kleinste L_c -waarde van de beschikbare ruwheidsmeter 0,25mm is, wordt deze voor beide oppervlakken toegepast. Dit betekent dat oneffenheden met een golflengte van 0,25mm door de filter met 25% verkleint worden.

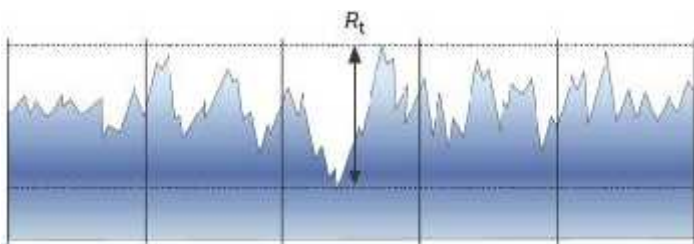
De meetlengte bedraagt gewoonlijk 5 keer de grensgolflengte en is de lengte van de weg van de opnemer (taster), waarover de meting van de ruwheid daadwerkelijk plaatsvindt. De meetlengte bedraagt voor een L_c -waarde van 0,25mm dus 1,25mm .



Figuur 22: Digitale ruwheidsmeter (DIAVITE Compact II) [23]

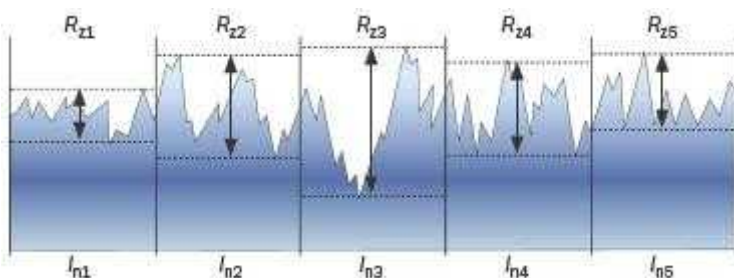
Het meten van de oppervlakteruwheid kan op verschillende manieren geschieden, waarbij de meest gangbare parameters de volgende zijn [24]:

- R_t (totale profielhoogte): de afstand tussen de hoogste top en het diepste dal van de geëvalueerde lengte, wordt vooral toegepast indien redelijk identieke pieken verwacht worden zoals bij gedraaide producten (figuur 23).



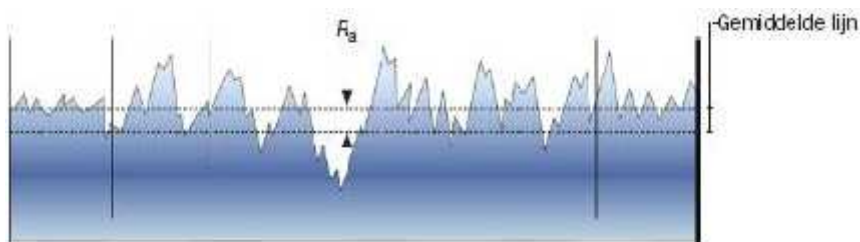
Figuur 23: R_t -waarde

- R_z (gemiddelde maximale profielhoogte): gemiddelde van het grootste verschil tussen top en dal van vijf verschillende zones (figuur 24).



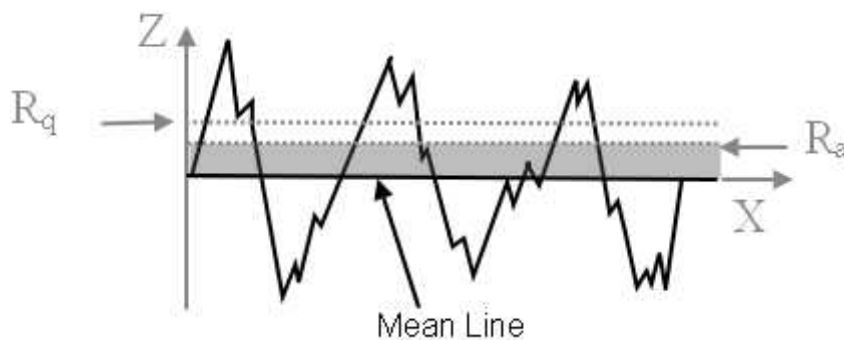
Figuur 24: R_z -waarde

- R_a (rekenkundig gemiddelde ruwheid van het profiel): een gemiddelde waarde van alle afwijkingen ten opzichte van een referentielijn. Deze waarde zegt weinig over de toppen en dalen van het profiel. De R_a -waarde wordt niet significant beïnvloed door één of enkele grote krassen, wat deze meetwaarde ongeschikt maakt om bijvoorbeeld de ruwheid van een dichting te controleren. Een mogelijke toepassing is een ruwheidsmeting op een oppervlak dat makkelijk reinigbaar moet zijn en/of een goede doorstroming van een product moet garanderen (figuur 25).



Figuur 25: R_a -waarde

- R_q (geometrisch gemiddelde ruwheid) [25]: meetkundig gemiddelde hoogte van oneffenheden gemeten vanaf de gemiddelde lijn over de evaluatielengte. Deze is gevoeliger voor occasionele hoogte-en dieptepunten, waardoor het een waardevolle aanvulling op de R_a -waarde. Voor een gegeven oppervlak is de R_q -waarde iets groter dan de R_a -waarde, ongeveer 10% (figuur 26).



Figuur 26: R_q -waarde vs. R_a -waarde [26]

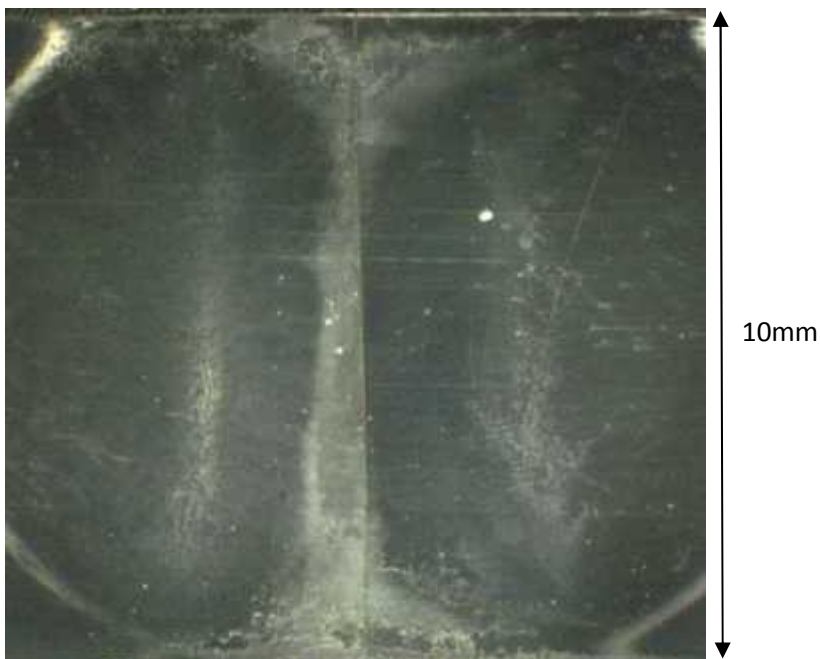
Het grote verschil tussen laatstgenoemde waarden is dat de R_q -meting occasionele pieken of dalen versterkt, terwijl de R_a -meting gewoon het gemiddelde berekent. De R_q -waarde is dus het meest aangewezen om de oppervlaktekwaliteit van de stalen te beoordelen.

3.6.3 Microscopie

Met behulp van een digitale microscoop (figuur 27) kan de vloeilijn en de topografie bestudeerd worden. De microscoop beschikt over een vergroting gaande van 25 tot 200 maal de werkelijke grootte. Figuur 28 is een duidelijk voorbeeld van een product met vloeilijn en de typische v-inkeping.



Figuur 27: Microscoop (KEYENCE VHX-500)



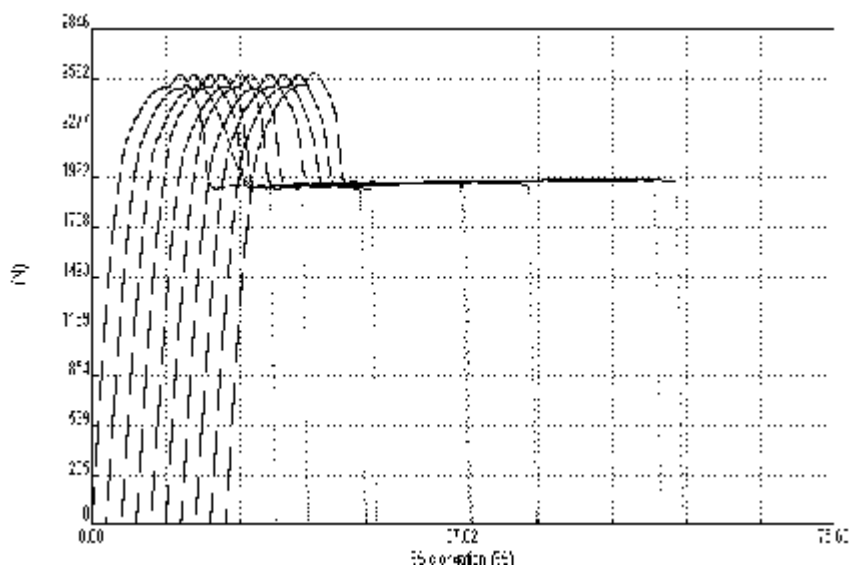
Figuur 28: Een staal met zichtbare vloeilijn en v-inkepingen

3.6.4 Trekproef

De treksterkte van de stalen wordt bepaald met behulp van een trekbank van Quasar (figuur 29, zie bijlage 9) die uitgerust is met pneumatische klemmen en een extensometer die de optredende rek meet. Hierdoor kan niet alleen de maximale treksterkte en elasticiteitsmodulus bepaalt worden, maar ook de optredende rek en de rek bij breuk. De snelheid waarmee de pneumatische klemmen uit elkaar bewegen bedraagt volgens de norm (ISO527) 100mm/min. De trekbank is geplaatst in een geklimatiseerde ruimte. Figuur 30 is een voorbeeld van de bekomen trekcurven van een trekproef op PC stalen.



Figuur 29: Trekbank (QUASAR 50)



Figuur 30: Voorbeeld van trekcurven (PC)

4. Resultaten & Discussie

Dit hoofdstuk is opgedeeld in twee deelhoofdstukken. Hoofdstuk 4.1 toont de resultaten met betrekking tot de sterkte van de vloeilijn. In hoofdstuk 4.2 ligt de focus op de oppervlaktekwaliteit van de gespuitsgiete producten. Er wordt dan voornamelijk aandacht besteedt aan de glans van de producten, de zichtbaarheid van de vloeilijn en de reproduceerbaarheid van het matrijsoppervlak. Ook het uitblijven van defecten is hierbij een belangrijk aspect.

4.1 Vloeilijnsterkte

In tabel 6 en 7 staan de resultaten geschreven van de trekproef respectievelijk voor PC ABS en PC. In de linkse kolom staan de parameters waarmee de stalen gespuitsgiet werden. De matrijstemperatuur (T_{mold}) in graden Celsius, de injectiesnelheid (FR) in millimeter per seconde en de nadruk (p_{pack}) als een percentage van de injectiedruk. In de overige kolommen staan de resultaten van de trekproef inclusief de foutmarges voor een sluitkracht van 450kN en/of 350kN.

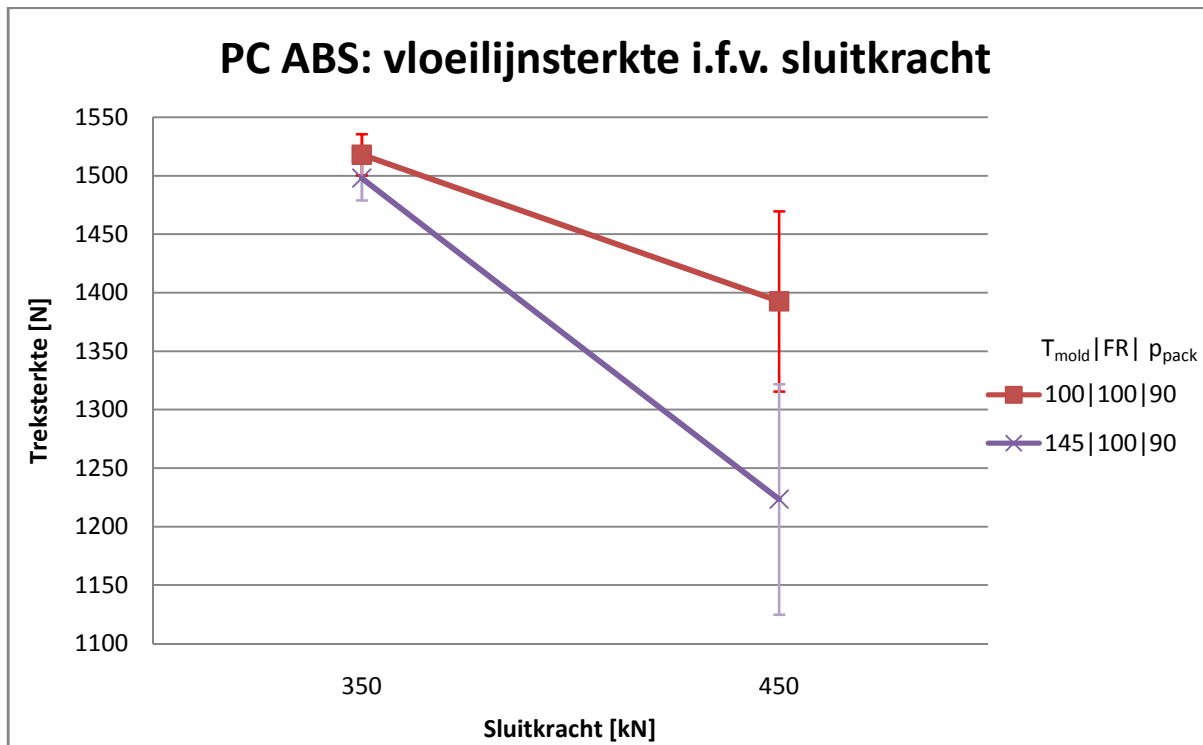
Tabel 6: Vloeilijnsterkte trekstaafjes PC ABS

PC ABS T_{mold} FR p_{pack}	Sluitkracht = 450kN		Sluitkracht = 350kN	
	Treksterkte [N]	Foutmarge	Treksterkte [N]	Foutmarge
85 100 90	/	/	1512,3	18,1
100 100 60	1286,5	85,7	/	/
100 100 90	1392,6	77,0	1518,1	17,6
100 150 60	1183,7	85,5	/	/
100 150 90	1164,7	123,7	/	/
145 50 90	/	/	1443,0	11,1
145 75 90	/	/	1435,3	31,1
145 100 60	1203,0	85,5	/	/
145 100 90	1223,3	98,6	1497,5	19,1
145 150 60	976,5	57,6	/	/
145 150 90	985,1	133,1	/	/
180 100 90	/	/	1478,4	7,0

Tabel 7: Vloeilijnsterkte trekstaafjes PC

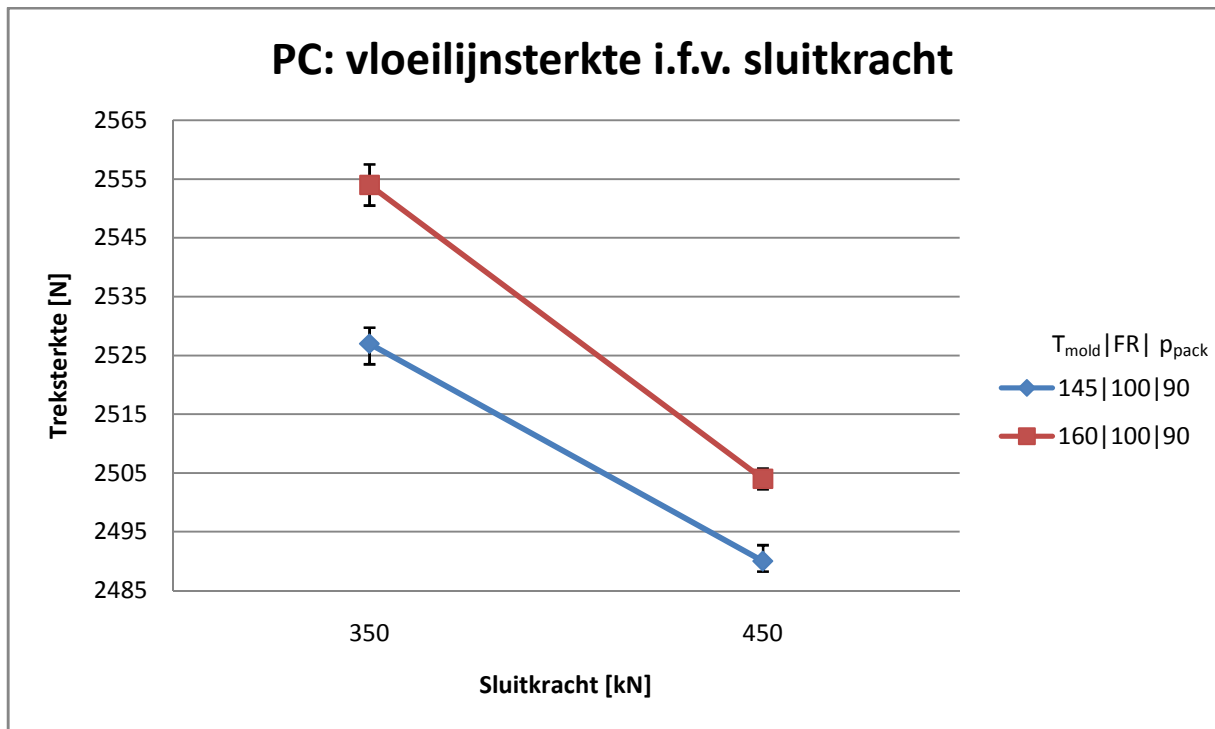
PC			Sluitkracht = 450kN		Sluitkracht = 350kN	
T _{mold}	FR	p _{pack}	Treksterkte [N]	Foutmarge	Sluitkracht = 350kN	Foutmarge
85	100	90	/	/	2460,7	113,9
145	50	50	2271,4	26,9	/	/
145	50	70	2367,0	7,9	/	/
145	50	90	2475,3	12,5	/	/
145	75	50	2313,5	8,8	/	/
145	75	70	2388,4	13,9	/	/
145	75	90	2481,5	2,6	/	/
145	100	50	2385,1	13,6	/	/
145	100	70	2468,0	4,6	/	/
145	100	90	2489,6	2,7	2527,1	3,7
160	50	50	2246,6	26,2	/	/
160	50	70	2354,0	8,1	/	/
160	50	90	2433,2	53,3	/	/
160	75	50	2283,5	27,3	/	/
160	75	70	2282,5	14,2	/	/
160	75	90	2492,7	14,4	/	/
160	100	50	2340,3	8,3	/	/
160	100	70	2459,1	9,5	/	/
160	100	90	2504,3	1,8	2554,2	3,5
180	100	90	/	/	2578,0	4,0

De vloeilijnsterkte van PC ABS stalen werd vooral beïnvloedt door de sluitkracht (figuur 31) met als reden hiervoor de slechte ontluchting bij een te hoge sluitkracht. De lucht die vooruit gestuwd wordt door de smelt kan niet ontsnappen en zorgt voor een tegenwerkende kracht, waardoor een verhoogde vloe weerstand en hitte ontstaat met ontmenging van de blend als gevolg. Uit de resultaten blijkt dat een vloeilijn tot 22% zwakker kan worden door een slechte ontluchting.



Figuur 31: Vloeilijnsterkte i.f.v. sluitkracht (PC ABS)

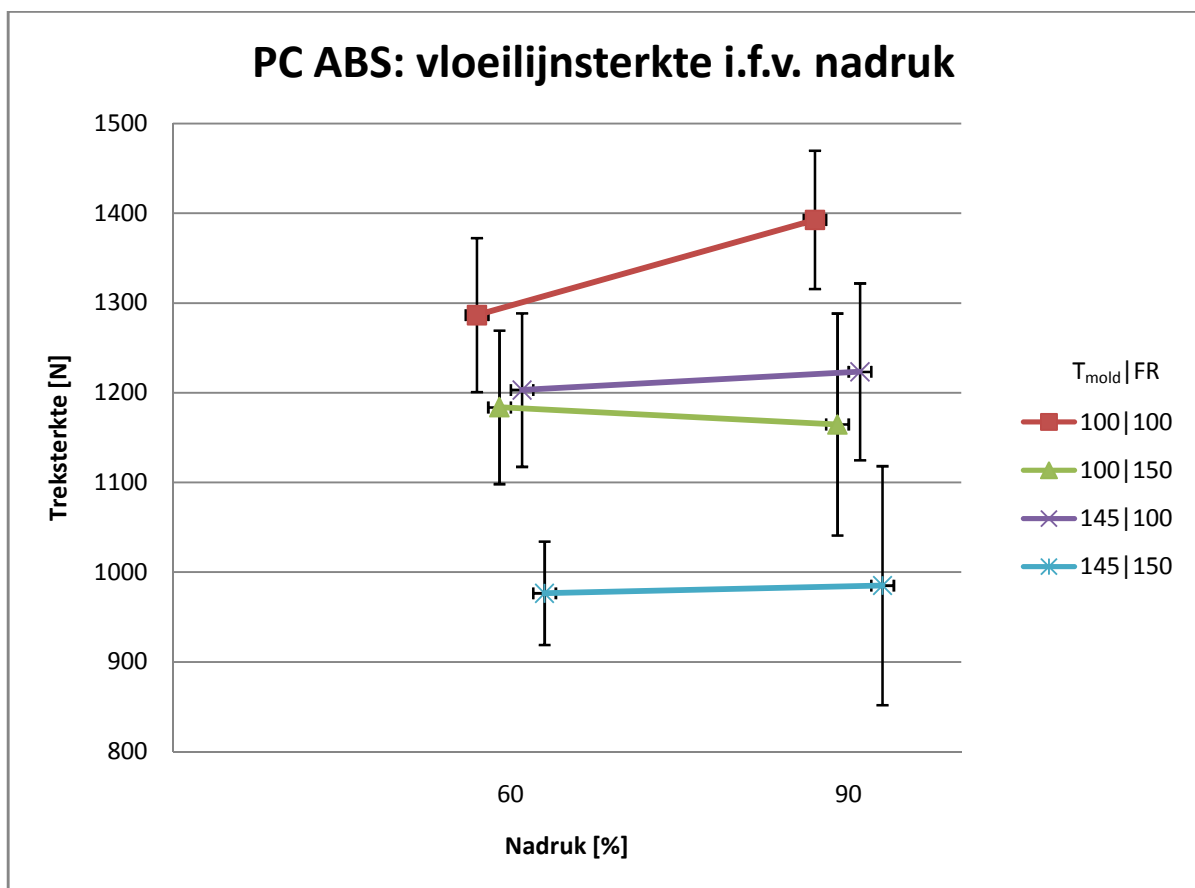
PC is veel minder gevoelig aan een slechte ontluchting, omdat geen ontmenging kan optreden (figuur 32). Maar er is wel degelijk een daling in treksterkte door de verhoogde vloe weerstand.



Figuur 32: Vloeilijnsterkte i.f.v. sluitkracht (PC)

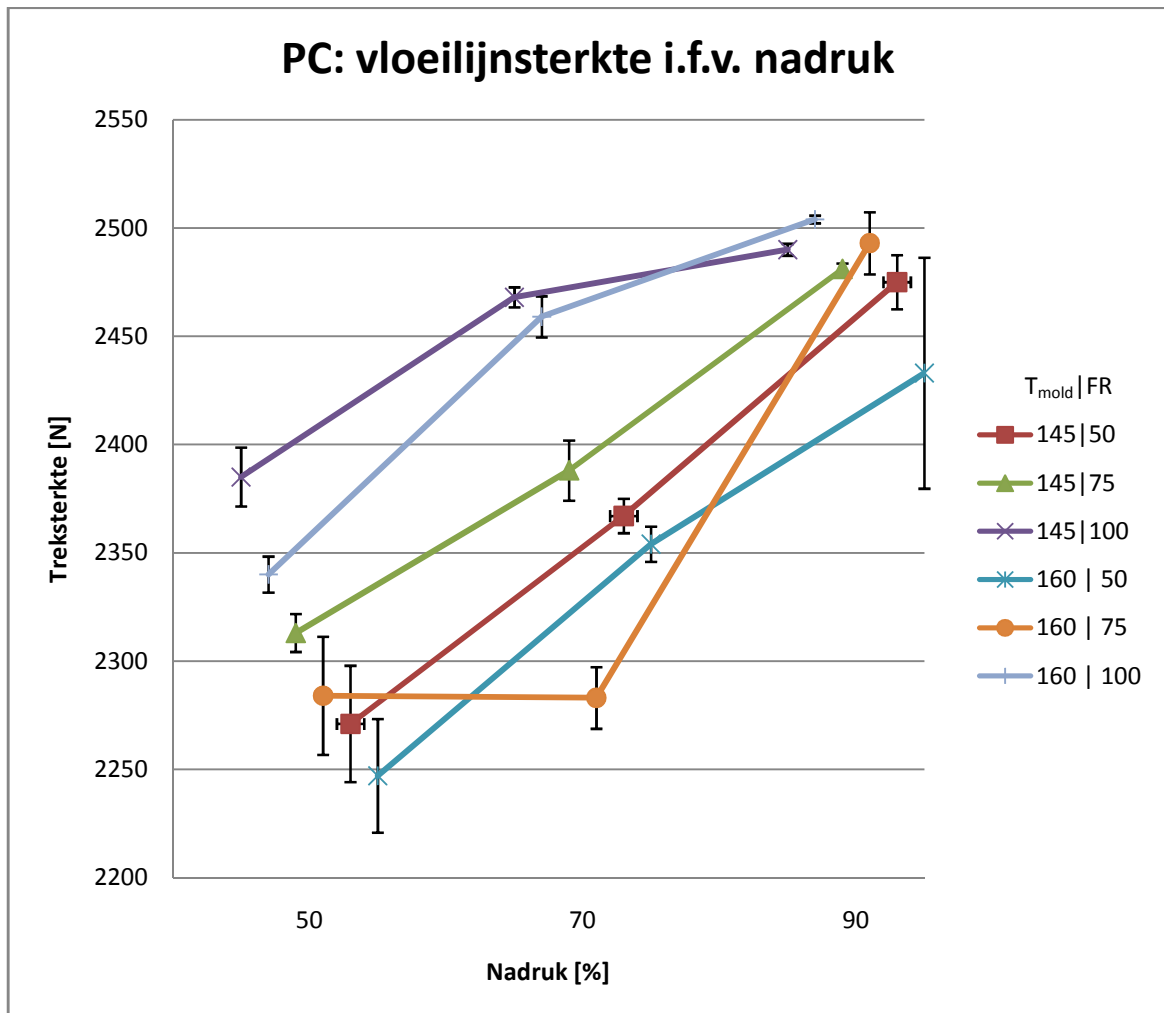
Een tweede belangrijke parameter met betrekking tot de vloeilijnsterkte is de nadruk. Een te lage nadruk kan ervoor zorgen dat de vloeifronten uit elkaar krimpen en zo de kracht van hun binding verliezen. Daarom is zowel voor de blend (figuur 33) en het homopolymeer (figuur 34) aangewezen om de nadruk minimaal gelijk te stellen aan 90 procent van de injectiedruk. Het positief effect van een verhoogde nadruk is niet altijd aanwezig voor PC ABS, maar dit is te wijten aan de te hoge sluitkracht.

Maar niet enkel de nadrukhoogte is belangrijk, ook het omschakelpunt. Tijdens de experimenten werd duidelijk dat de caviteit volledig gevuld moet worden, zodat de vloeifronten elkaar raken alvorens op nadruk overgeschakeld wordt. Zo wordt bijgevolg de krachtigste binding tussen de vloeifronten bekomen.



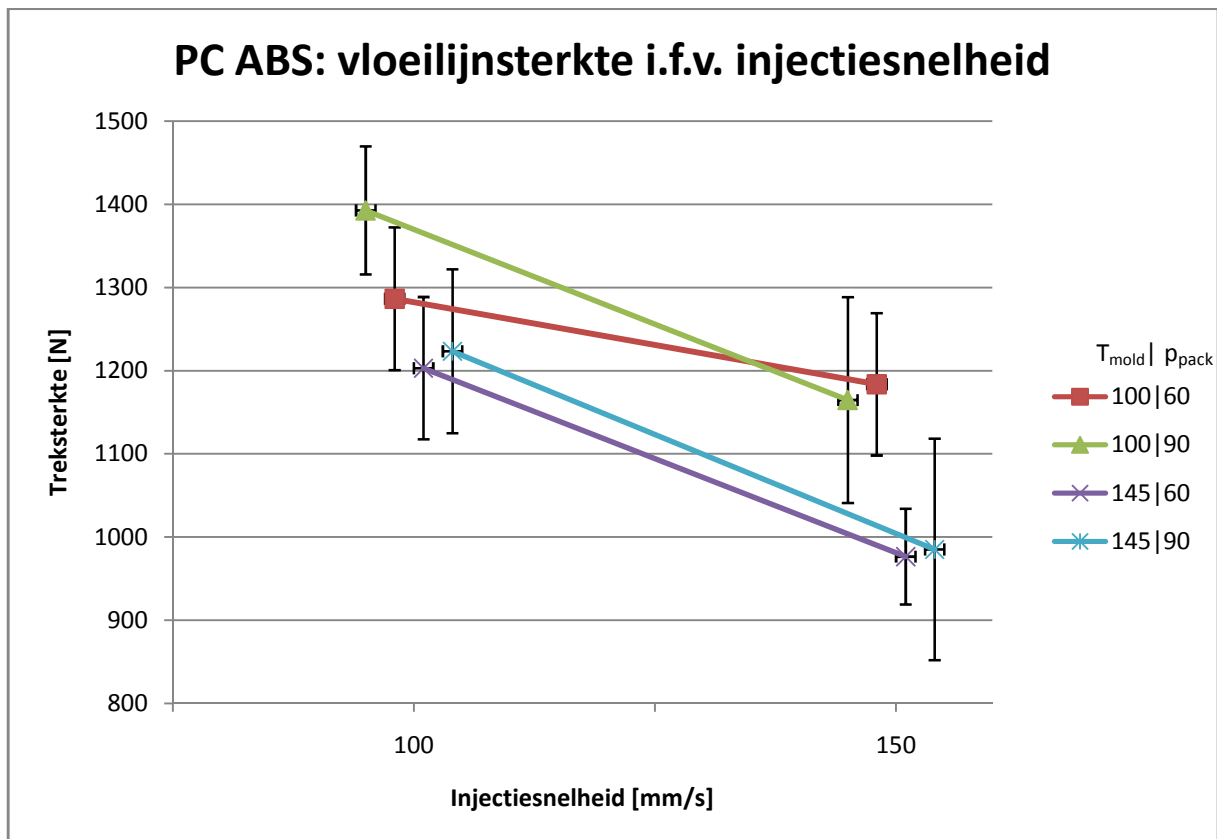
Figuur 33: Vloeilijnsterkte i.f.v. nadruk (PC ABS)

Er is echter één afwijking zichtbaar op de oranje lijn (middelste punt), namelijk de treksterkte van de stalen die gespuitsget werden met een matrijstemperatuur van 160°C, een nadruk van 70% en een injectiesnelheid van 75mm/s (figuur 34). Bij het controleren van de parameterinstellingen werd het duidelijk dat een verandering van het omschakelpunt hiervan de oorzaak is. Er is echter geen reden voor de verandering van het omschakelpunt.



Figuur 34: Vloeilijnsterkte i.f.v. nadruk (PC)

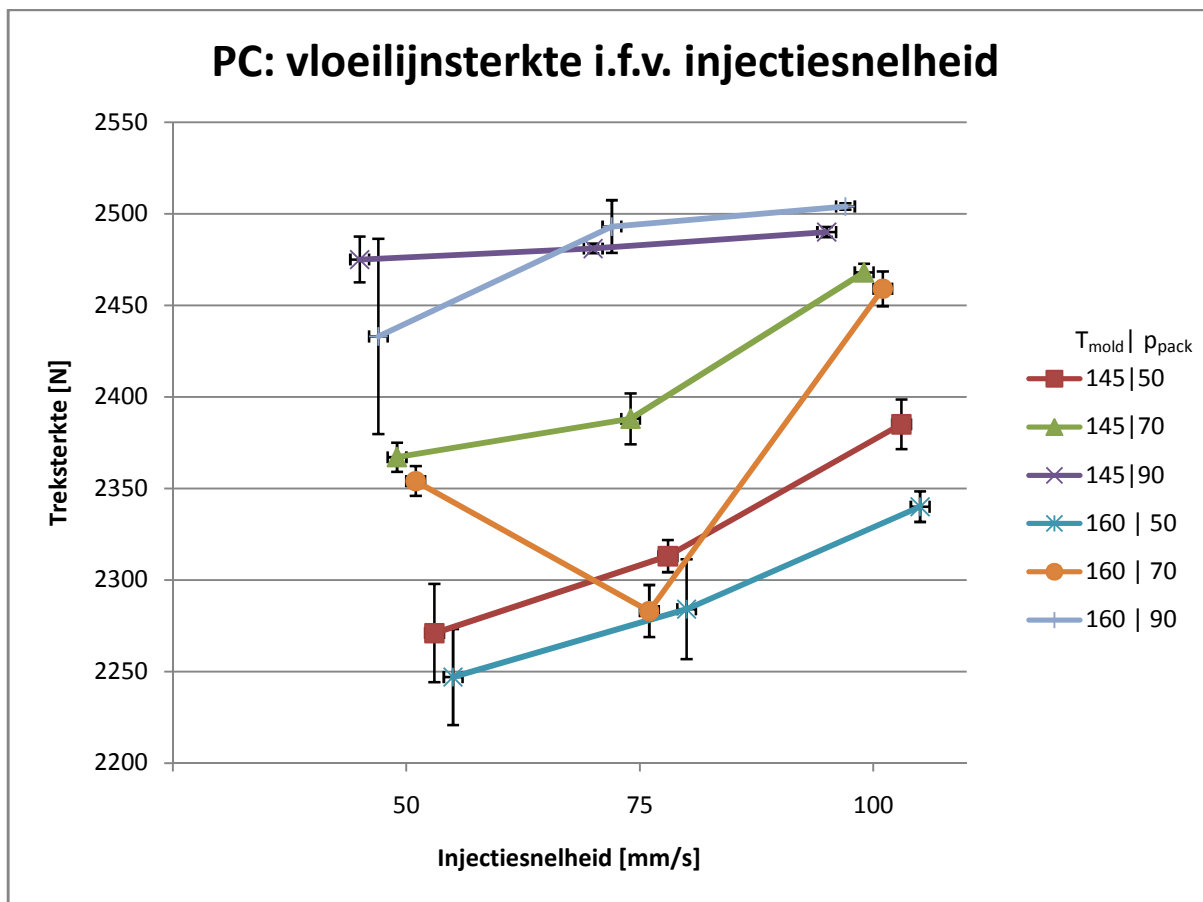
De injectiesnelheid is een zeer belangrijke parameter bij het spuitgieten van deze blend. Stalen van PC ABS die gesputgiet werden met een hoge injectiesnelheid (150mm/s) hebben een vloeilijn die 8 tot 19 procent zwakker is als stalen die gesputgiet werden met een injectiesnelheid van 100mm/s (figuur 35). Verder onderzoek in het labo heeft aangetoond dat delaminatie van het polymeer optreedt door te hoge afschuifkrachten. Delaminatie is het afpellen van de kunststoflagen, wat wijst op een slechte verbinding tussen de lagen onderling, waardoor de vloeilijnsterkte aanzienlijk daalt.



Figuur 35: Vloeilijnsterkte i.f.v. injectiesnelheid (PC ABS)

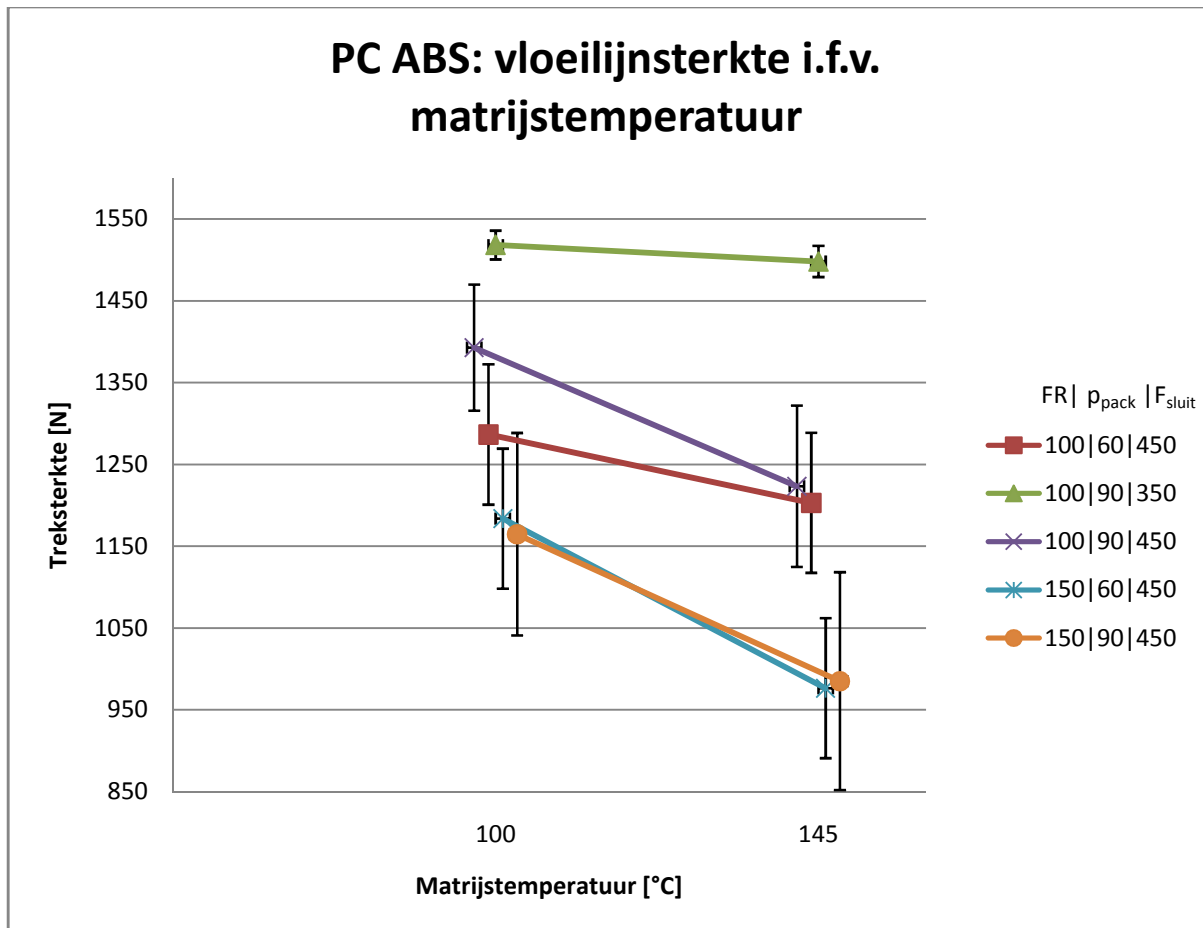
Het homogeen polymeer (PC) is duidelijk minder gevoelig aan een verhoging van de injectiesnelheid, aangezien geen ontmenging kan optreden. Op figuur 36 is zichtbaar dat een toename van de injectiesnelheid tot sterkere vloeilijnen leidt. PC heeft als nadeel een slechte verwerkbaarheid, dus door de injectiesnelheid voldoende hoog te kiezen wordt de smeltviscositeit lager. De lagere viscositeit tezamen met een hogere injectiedruk zorgt voor een krachtigere binding tussen de vloeifronten, met als gevolg een sterkere vloeilijn.

Wederom is er een afwijking zichtbaar (middelste oranje punt), die zoals eerder al aangehaald werd te wijten is aan een verandering van het omschakelpunt.



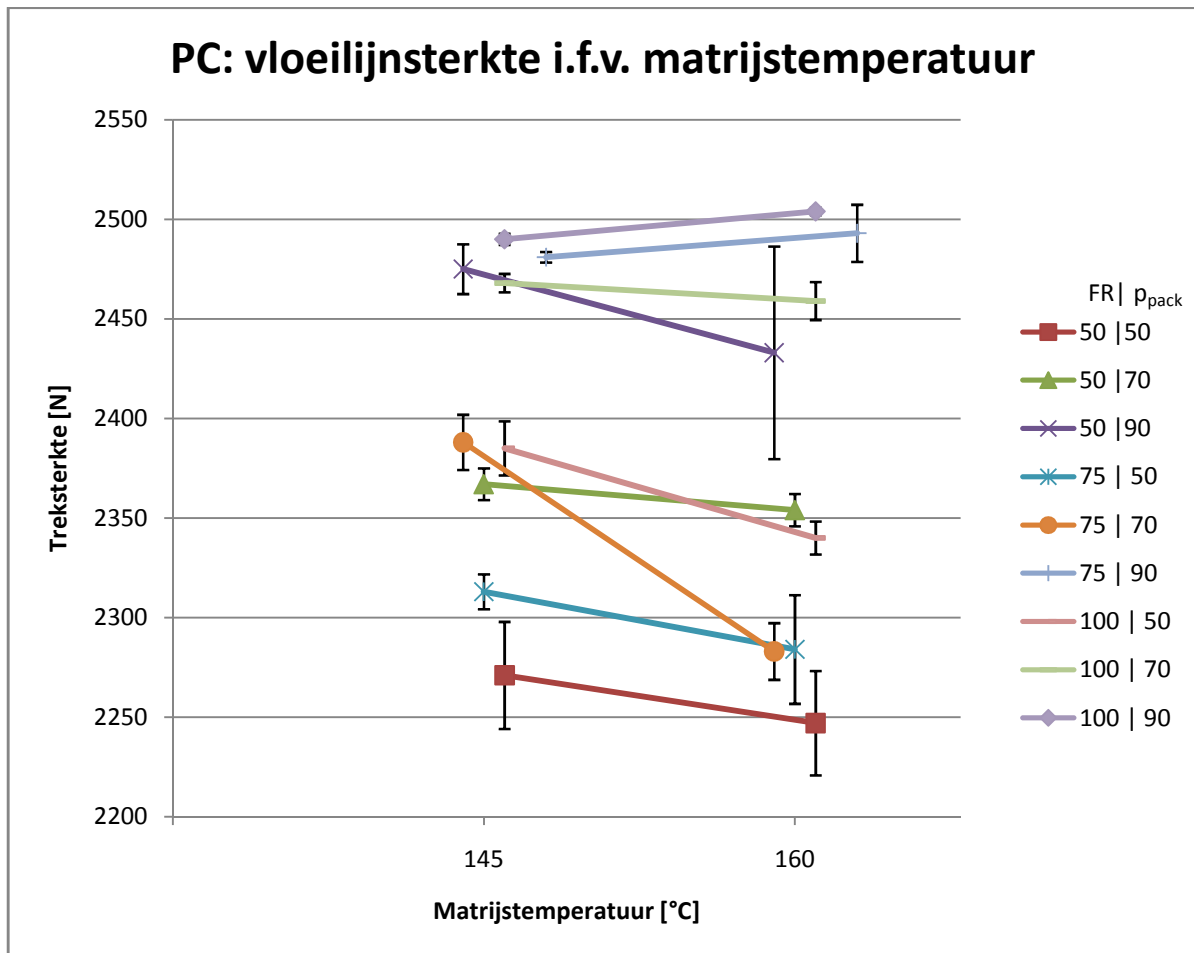
Figuur 36: Vloeilijnsterkte i.f.v. injectiesnelheid (PC)

Figuren 37 toont de vloeilijnsterkte van de blend in functie van de matrijstemperatuur. Hieruit blijkt dat de vloeilijn van PC ABS verzwakt door een matrijstemperatuur die boven de T_g -waarde (142°C) van het polymeer ligt. Dit geldt echter enkel voor de stalen die gespuitsgiet werden met een te hoge sluitkracht (450kN), omdat meer ontmenging optreedt bij een verhoogde vloe weerstand in combinatie met een hoge matrijstemperatuur. De stalen die gespuitsgiet werden met een sluitkracht van 350kN werden niet significant beïnvloed door de verhoging van de matrijstemperatuur (groene lijn).



Figuur 37: Vloeilijnsterkte i.f.v. matrijstemperatuur (PC ABS)

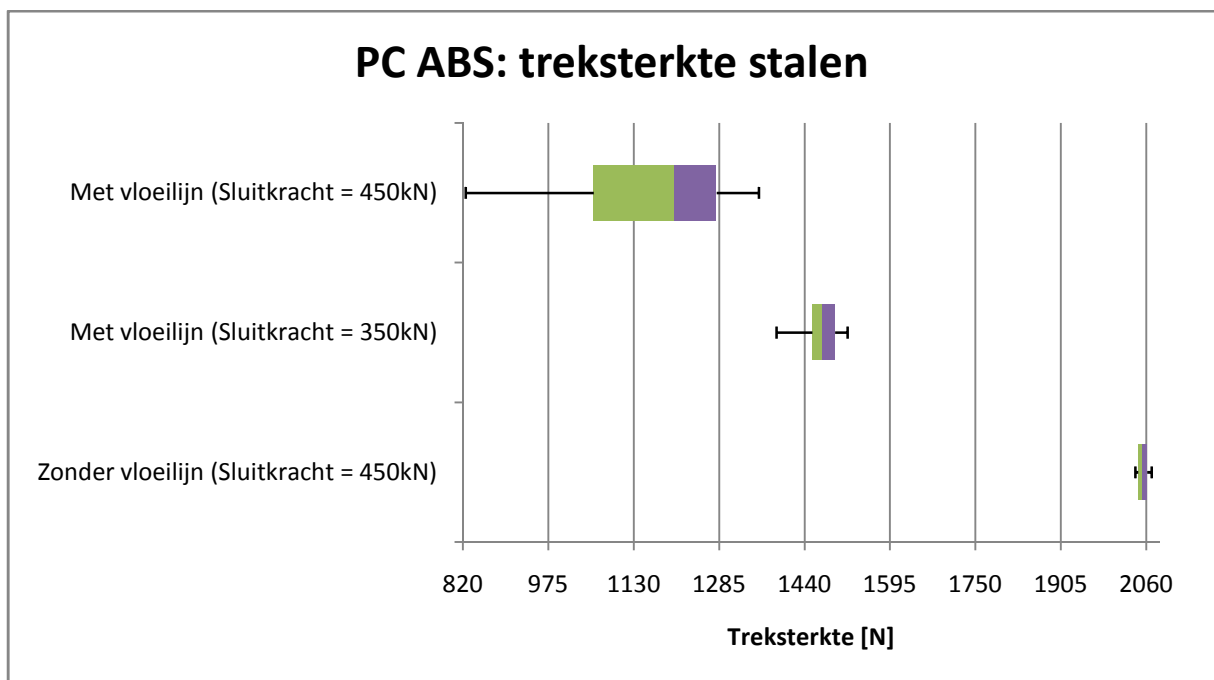
De vloeilijnsterkte van PC stalen wordt net als de PC ABS stalen niet significant beïnvloed door een variatie van de matrijstemperatuur (figuur 38). Er doet zich een kleine, niet significante stijging voor van de vloeilijnsterkte indien de injectiesnelheid minstens 75mm/s bedraagt en de nadruk op 90% van de injectiedruk wordt ingesteld. Voor de overige parameterinstellingen correspondeert een verhoging van de matrijstemperatuur met een kleine daling van de vloeilijnsterkte.



Figuur 38: Vloeilijnsterkte i.f.v. matrijstemperatuur (PC)

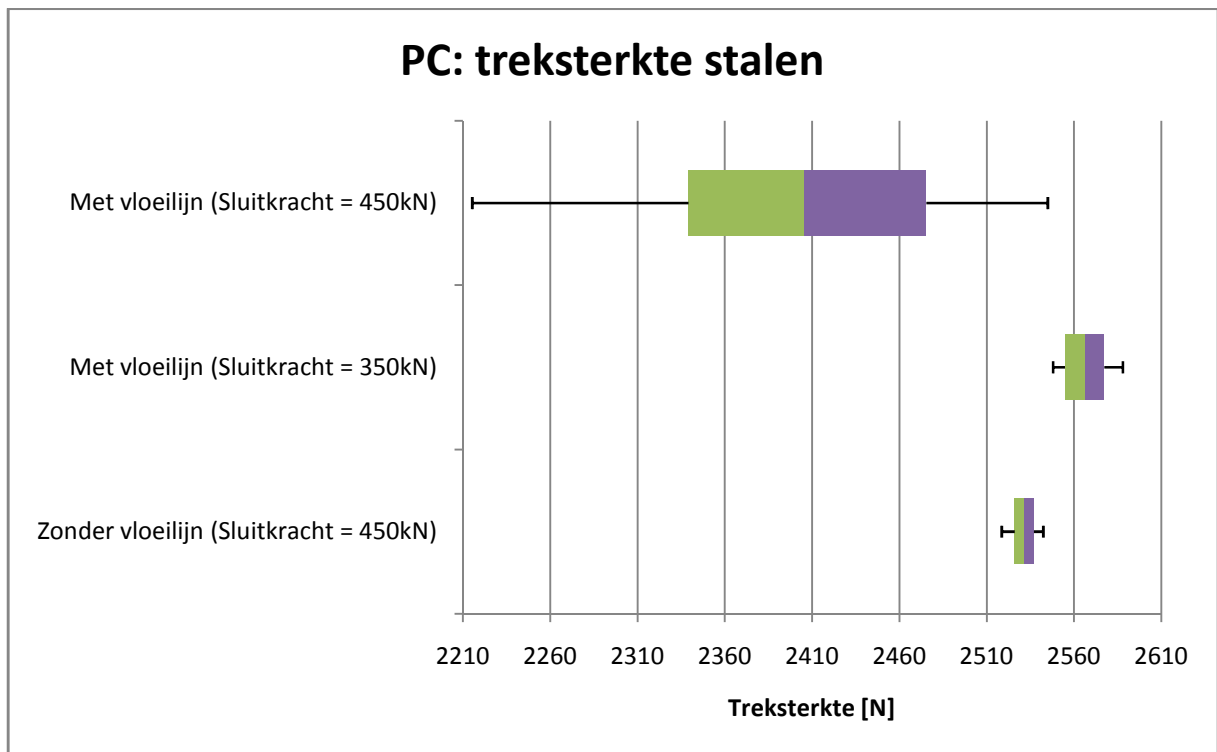
Één van de vooropgestelde eisen was dat de vloeilijnsterkte minimaal 70% van de materiaalsterkte moet bedragen. Voor PC ABS betekent dit dat de vloeilijnsterkte minimaal 1440N moet bedragen, aangezien de gemiddelde treksterkte van een trekstaafje zonder vloeilijn 2053 N bedraagt (figuur 39). Een vloeilijn van een PC staaltje moet een trekkracht van minimum 1770N aankunnen, want de gemiddelde treksterkte bedraagt 2532 N voor trekstaafjes zonder vloeilijn (figuur 39).

Bij de stalen van PC ABS zien we echter dat niet alle vloeilijnen sterk genoeg zijn. De vloeilijn is enkel sterk genoeg indien een sluitkracht van 350kN wordt toegepast. Trekstaafjes die gespuitsgiet werden met een hogere sluitkracht hebben steeds een te zwakke vloeilijn. Zoals eerder al aangehaald werd is dit te wijten aan de slechte ontluchting met als gevolg een te hoge vloeiweerstand voor de smelt.



Figuur 39: Treksterkte PC ABS stalen (met vs. zonder vloeilijn)

Stalen van PC hebben voor iedere parameterinstelling een vloeilijn die sterker is dan 1770N (figuur 40). De zwakste vloeilijn heeft nog steeds een treksterkte van 2215,3N. Het is zelfs zo dat de stalen met vloeilijn betere resultaten vertonen met de stalen zonder vloeilijn indien ze met een lage sluitkracht van 350kN gespuitsgiet werden. Dit komt omdat de stalen zonder vloeilijn ook met een hoge sluitkracht gespuitsgiet werden en dus ook invloed ondervinden van een verhoogde vloeiveerstand.



Figuur 40: Treksterkte PC stalen (met vs. zonder vloeilijn)

4.2 Oppervlaktekwaliteit

Tabel 8 en 9 tonen de resultaten van de glansmeting met een meetgeometrie van 20° verricht op de stalen van PC ABS en PC. Deze meetgeometrie is van toepassing aangezien de glanswaarde gemeten met de 60° geometrie hoger is dan 70 glanseenheden. Dit betekent dat als het oppervlak hoogglanzend is de 20° geometrie toegepast moet worden. De linkse kolom bevat de parameters waarmee de trekstaafjes gespuits werden. De matrijstemperatuur (T_{mold}) in graden Celsius, de injectiesnelheid (FR) in millimeter per seconde en de nadruk (p_{pack}) als een percentage van de injectiedruk. In de overige kolommen staan de resultaten en foutmarges voor een sluitkracht van 450kN en/of 350kN vermeld.

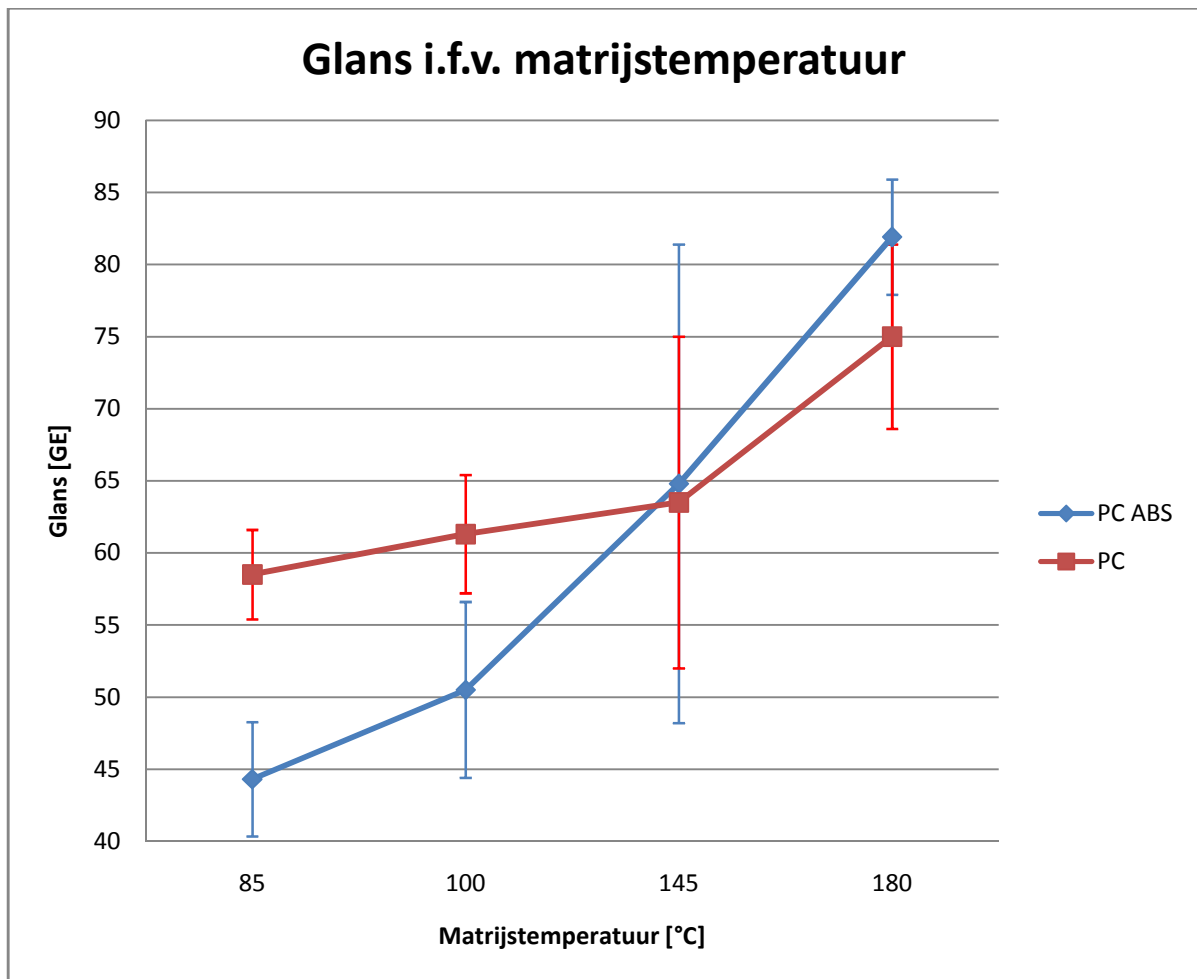
Tabel 8: Glans trekstaafjes PC ABS

PC ABS T_{mold} FR p_{pack}	Sluitkracht = 450kN		Sluitkracht = 350kN	
	Glans [GE]	Foutmarge	Glans [GE]	Foutmarge
85 100 90	14,0	3,7	44,3	4,0
100 100 60	13,9	2,4	/	/
100 100 90	12,4	2,4	50,5	2,0
100 150 60	33,1	15,8	/	/
100 150 90	18,9	8,1	/	/
145 50 90	/	/	61,6	23,3
145 75 90	/	/	56,6	21,3
145 100 60	70,5	5,9	/	/
145 100 90	59,5	18,0	64,8	8,8
145 150 60	51,7	18,6	/	/
145 150 90	57,9	16,6	/	/
180 100 90	/	/	81,9	4,0

Tabel 9: Glans trekstaafjes PC

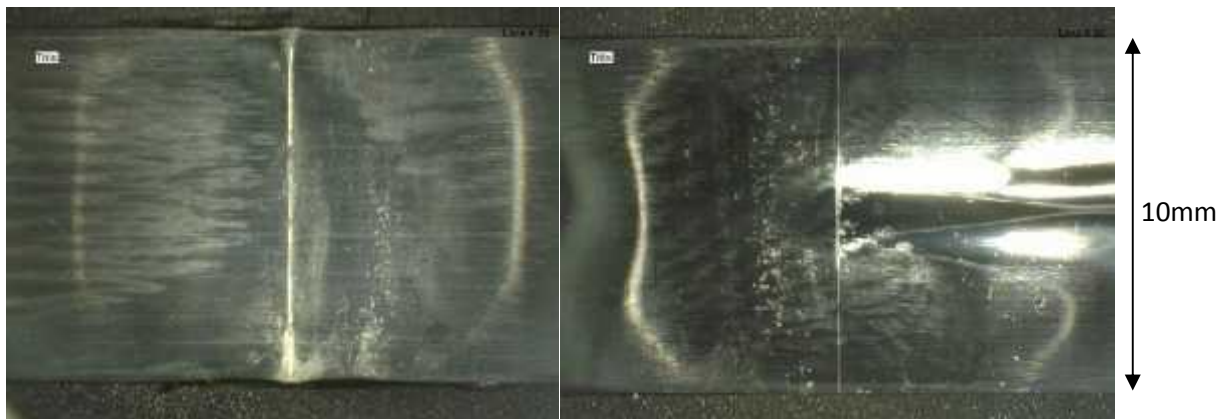
PC T _{mold} FR p _{pack}	Sluitkracht = 450kN		Sluitkracht = 350kN	
	Glans [GE]	Foutmarge	Glans [GE]	Foutmarge
85 100 90	/	/	63,5	3,1
145 50 50	67,5	8,8	/	/
145 50 70	62,7	23,6	/	/
145 50 90	55,5	20,5	/	/
145 75 50	45,0	8,9	/	/
145 75 70	32,8	5,5	/	/
145 75 90	49,5	7,0	/	/
145 100 50	55,8	12,0	/	/
145 100 70	31,0	10,7	/	/
145 100 90	56,0	6,2	/	/
160 50 50	78,8	4,2	/	/
160 50 70	73,8	4,0	/	/
160 50 90	84,2	5,2	/	/
160 75 50	75,4	5,2	/	/
160 75 70	76,1	14,4	/	/
160 75 90	85,5	2,9	/	/
160 100 50	78,8	7,7	/	/
160 100 70	82,5	12,6	/	/
160 100 90	85,2	1,2	63,5	6,9
180 100 90	/	/	75,0	6,1

Uit figuur 41 kan men constateren dat het verhogen van de matrijstemperatuur voor beide polymeren een positieve uitwerking heeft op de glans van het productoppervlak. De verhoogde matrijstemperatuur gaat het vroegtijdig stollen van de smelt tegen de matrijswand tegen waardoor het oppervlakteprofiel van de caviteit beter gekopieerd wordt. Om dit profiel te behouden is een hoge nadruk (90% van de injectiedruk) van toepassing, zodoende wordt de krimp optimaal gecompenseerd. Producten van zowel PC ABS als PC zijn in alle gevallen hoogglanzend, zelfs bij het conventioneel spuitgieten en een daarbij horende matrijstemperatuur van 85°C. De beste resultaten werden echter verkregen bij een waarde hoger dan de glastransitietemperatuur van PC ($T_g = 142^\circ\text{C}$).



Figuur 41: Glans i.f.v. matrijstemperatuur

De oppervlaktekwaliteit van de stalen die gespuitsgiet werden met een sluitkracht van 450kN is ver van optimaal door de aanwezigheid van luchtinsluitsels en krimpholtes die het licht verstrooien, met als gevolg grote foutmarges op de resultaten van de glansmeting. Bij de PC ABS stalen zijn de typische V-inkepingen aan de uiteinden van de vloeilijn opzichtig aanwezig (figuur 42), terwijl de PC stalen meer last hebben van luchtinsluitsels en krimpholtes rondom de vloeilijn, die ook te wijten zijn aan een te lage nadruk (50% of 70% van de injectiedruk). Dit zorgt voor een sterkte daling van de mechanische sterkte van de vloeilijn.



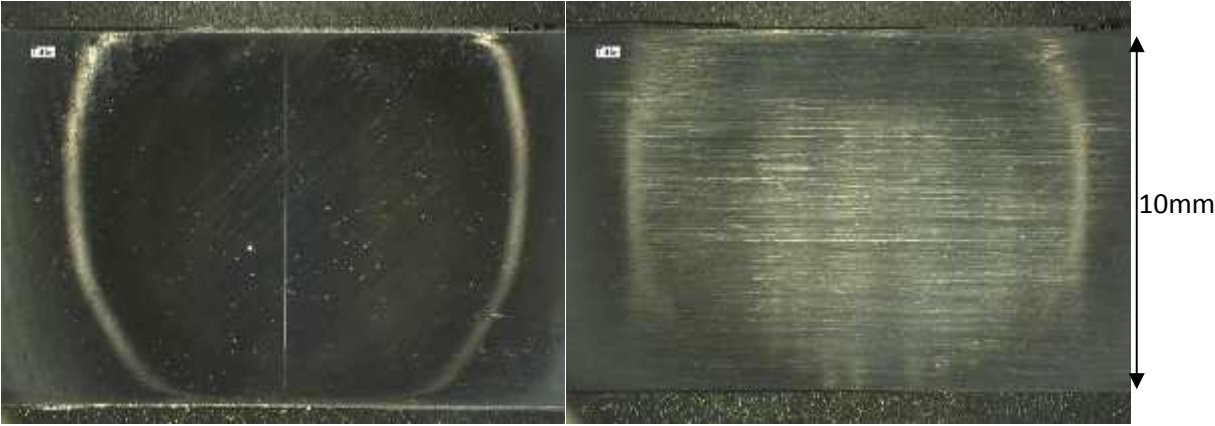
Figuur 42: Trekstaafjes met defecten (PC ABS links en PC rechts)

Om het oppervlak van een gespuitsgiet product hoogglanzend te krijgen is het dus belangrijk dat een voldoende lage sluitkracht toegepast wordt, zodat er zich geen lucht ophoopt die het oppervlakprofiel beïnvloedt (figuur 43). Daarbij hoort ook een hoge matrijstemperatuur ($T_{\text{mold}} > T_g$), die het stollen van de smelt tegen de matrijswand voorkomt en de smelt laag viskeus houdt en een hoge nadruk (90%) om krimp te compenseren. De injectiesnelheid heeft overigens weinig invloed op de bekomen resultaten, ondanks de hogere injectiedruk en kleiner warmteverlies.



Figuur 43: Trekstaafjes zonder defecten (PC ABS links en PC rechts)

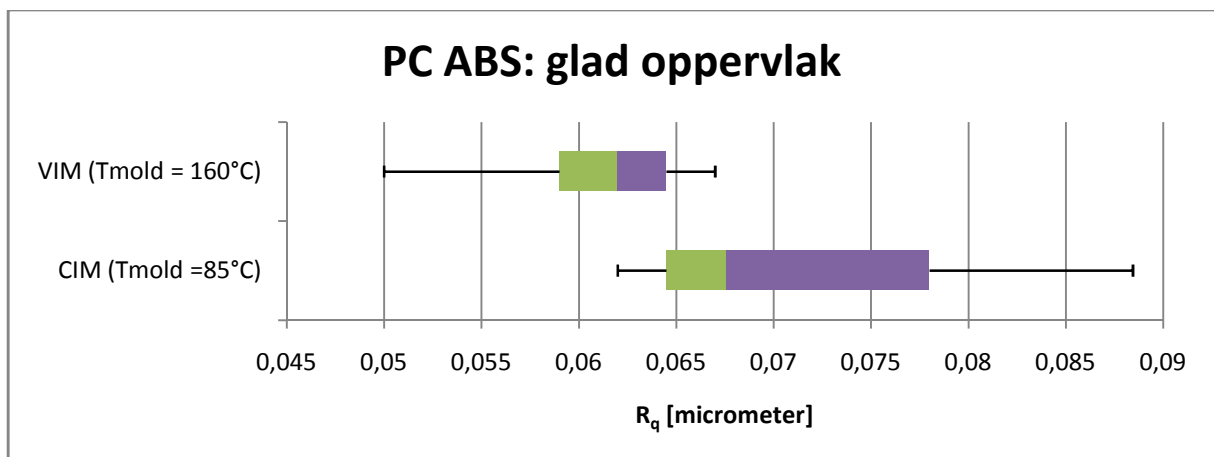
Figuur 44 toont aan hoe de vloeilijn verdwijnt door de matrijstemperatuur te verhogen van 85°C (CIM) naar 160°C of meer (VIM).



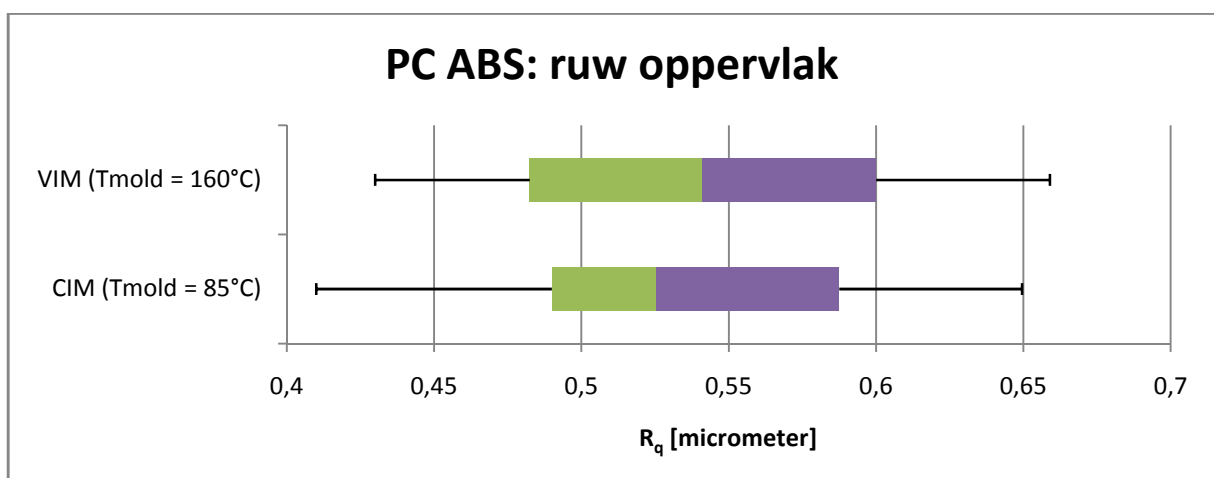
Figuur 44: Zichtbaarheid van de vloeilijn (CIM links en VIM rechts)

Om het effect van de matrijstemperatuur op de ruwheid en reproduceerbaarheid van het matrijsoppervlak na te gaan werden 10 kaartenhouders van zowel PC ABS als PC gespuitsgiet volgens het CIM ($T_{\text{mold}} = 85^{\circ}\text{C}$) en VIM ($T_{\text{mold}} = 160^{\circ}\text{C}$) proces. Van ieder staal is de R_q -waarde gemeten, waarna de resultaten van de ruwheidsmeting uitgezet zijn in verschillende boxplots. Het oppervlakprofiel van de caviteit kon niet gemeten worden doordat de ruwheidsmeter niet in de matrijsholte past. Er werd door de matrijzenbouwer bevestigd dat voor het gepolijste (gladde) oppervlak de ruwheid kleiner moet zijn dan 0,2 micrometer en voor het matte (ruwe) oppervlak de ruwheid minstens 0,4 micrometer bedraagt.

Voor de kaartenhouders van PC ABS is de invloed van de matrijstemperatuur op de reproduceerbaarheid niet significant. Bij het toepassen van VIM zien we een kleine afname van de ruwheid van het gladde oppervlak en de spreiding van de resultaten is iets kleiner (figuur 45). De ruwheden van het ruw oppervlak verschillen niet voor een variatie van de matrijstemperatuur (figuur 46). Dit betekent dat de smeltviscositeit van PC ABS reeds laag genoeg is bij een matrijstemperatuur van 85°C om een goede kopie van de caviteit te realiseren.

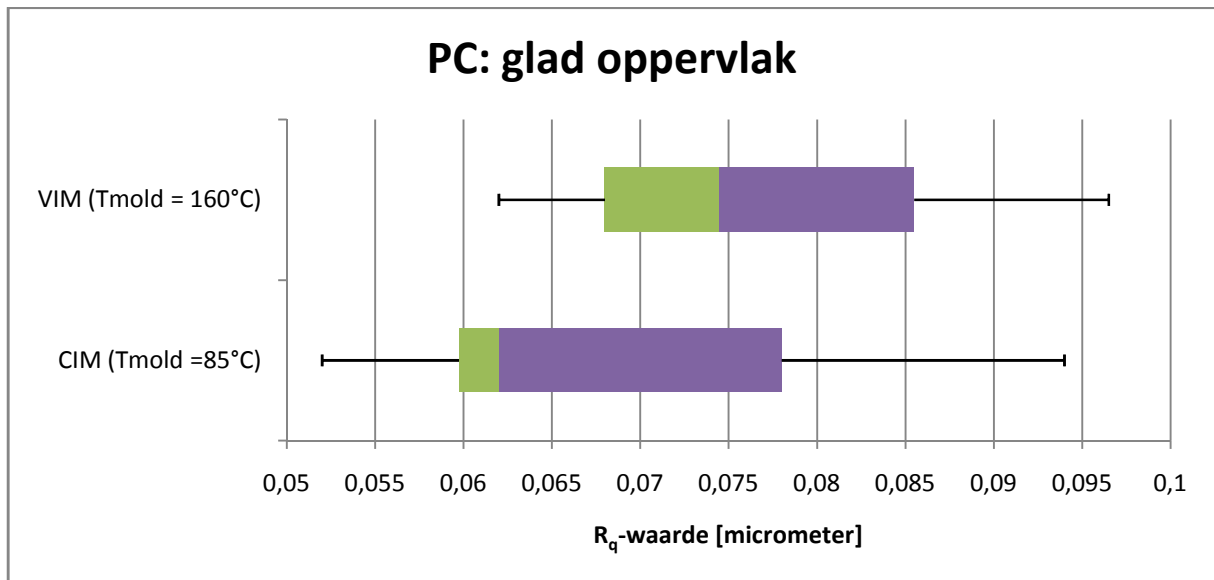


Figuur 45: R_q -waarde glad oppervlak (PC ABS)

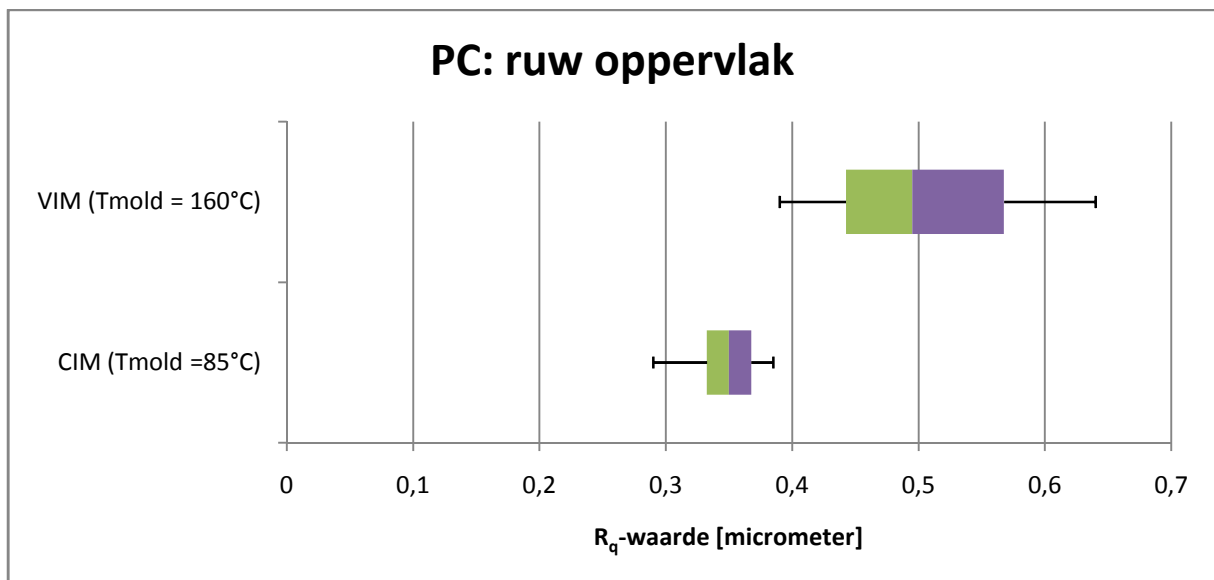


Figuur 46: R_q -waarde ruw oppervlak (PC ABS)

Voor de PC stalen valt op dat betere reproduceerbaarheid van het ruw oppervlak bekomen wordt indien de matrijstemperatuur verhoogt van 85°C naar 160°C (figuur 48). Door de hogere matrijstemperatuur is de smelt laag viskeus en wordt het vroegtijdig stollen van de smelt tegen de matrijswand vermeden, waardoor het ruwe oppervlakprofiel van de matrijswand beter gekopieerd wordt.



Figuur 47: R_q-waarde glad oppervlak (PC)



Figuur 48: R_q-waarde ruw oppervlak (PC ABS)

5. Besluit

De conclusie van het onderzoek is dat een voldoende lage sluitkracht van de matrijs het vullen van de caviteit zodanig vergemakkelijkt waardoor de oppervlaktekwaliteit en vloeilijnsterkte van het product aanzienlijk verbeterd kan worden. Dit geldt voor beide polymeren, maar vooral PC ABS is gevoelig aan een slechte ontluchting. De verhoogde vloeiveerstand en hitte door de gecomprimeerde lucht zorgt voor ontmenging van de blend waardoor de vloeilijnsterkte tot 22 procent lager kan zijn dan de sterkte aan de vloeilijn van een product dat gespuitsgiet werd met een geschikte sluitkracht.

De invloed van de matrijstemperatuur op de vloeilijnsterkte is onder optimale procesomstandigheden relatief beperkt. Een stijging van de matrijstemperatuur leidt bij de blend (PC ABS) tot een kleine daling van de vloeilijnsterkte, terwijl bij het homopolymeer (PC) een kleine stijging van de vloeilijnsterkte gemeten wordt. Deze variaties van de vloeilijnsterkte zijn echter niet significant. De invloed van de injectiesnelheid was vooral belangrijk voor de blend (PC ABS), aangezien delaminatie optreedt bij hoge schuifspanningen, waardoor de vloeilijn sterk verzwakt. Voor PC resulteert een toename van de injectiesnelheid in een stijging van de vloeilijnsterkte. De nadruk moet voor beide polymeren minstens 90% van de injectiedruk bedragen om uit elkaar krimpen van de vloeifronten tegen te gaan. Het is wel belangrijk om te onthouden dat het omschakelpunt van injectiedruk op nadruk zo gekozen is dat de matrijsholte volledig gevuld is, zodat de vloeifronten reeds met elkaar in contact komen.

De vloeilijnsterkte bedraagt voor beide polymeren minstens 70% van de materiaalsterkte. Er moet echter wel rekening gehouden worden met de negatieve invloed van een slechte ontluchting door een te hoge sluitkracht. Stalen met vloeilijn van PC ABS voldoen niet aan de vooropgestelde eis, indien de sluitkracht 450kN bedraagt. Voor PC ABS moet ook de injectiesnelheid beperkt worden om delaminatie te voorkomen.

De gespuitsgiete producten zijn reeds hoogglanzend bij een matrijstemperatuur van 85°C (CIM) en voor beide polymeren stijgt de glans met toenemende matrijstemperatuur. Glans correspondeert met de ruwheid van het oppervlak, daarom is een zo laag mogelijke ruwheid van de caviteit gewenst. Indien met PC gespuitsgiet wordt is een volledige kopie van het ruwheidsprofiel enkel mogelijk als de matrijs tot boven de glastransitietemperatuur verwarmd wordt. Dankzij het copolymeer (ABS) aanwezig in de blend is de smeltviscositeit laag genoeg om zelfs bij het conventioneel spuitgieten een goede kopie van de caviteit te realiseren.

Bronnen

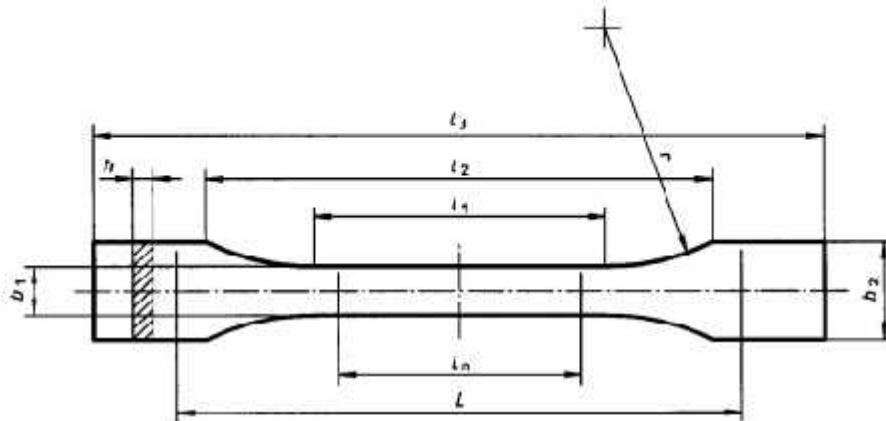
- [1] Spuitgietmachine, http://www.rutlandplastics.co.uk/moulding_machine.shtml (07/07/2014)
- [2] Guilong Wang, Guoqun Zhao, Xiaoxin Wang, Effects of cavity surface temperature on mechanical properties of specimens with and without weld line in rapid heat cycle molding
- [3] Guilong Wang, Guoqun Zhao, Xiaoxin Wang, Heating/cooling channels design for an automotive interior part and its evaluation in rapid heat cycle molding
- [4] J.Suy, Cotraplast cursus spuitgieten
- [5] Guilong Wang, Guoqun Zhao, Xiaoxin Wang, Effects of cavity surface temperature on reinforced plastic part surface appearance in rapid heat cycle molding
- [6] HB - therm product catalogue
- [7] T. Tjäder, J. Seppälä, Effect of material characteristics of polyolefins on weld line morphology and its correlation to mechanical properties
- [8] Tham Nguyen-Chung, Flow analysis of the weld line formation during injection mold filling of thermoplastics
- [9] John W. Bozzelli, What to do about weak weld lines
- [10] Katsuyuki Yokomizo, Yoshihiro Banno, Taketo Yoshikawa, Masaya Kotaki, Effect of Molecular Weight and Molecular Weight Distribution on Weld-Line Interface in Injection-Molded Polypropylene
- [11] Jong Cheol Lim, Jung-Ki Park, Weld-Line Characteristics of Polycarbonate/Acrylonitrile–Butadiene–Styrene Blends. I. Effect of the Processing Temperature
- [12] Chun-Sheng Chen, Tsyr-Jang Chen, Rean-Der Chien, Shie-Chung Chen, Investigation on the weldline strength of thin-wall injection molded ABS parts
- [13] Guilong Wang, Guoqun Zhao, Yanjin Guan, Thermal Response of an electric heating rapid heating cycle molding mold and its effect on surface appearance and tensile strength of the molded part
- [14] Guilong Wang, Guoqun Zhao, Xiaoxin Wang, Effects of cavity surface temperature on mechanical properties of specimens with and without a weld line in rapid heat cycle molding
- [15] S.G. Kim, N.P. Suh, Performance prediction of weldline structure in amorphous polymers
- [16] G.R. Berger, S. Roock, G. Steinbichler, J. Giessauf, D.P. Gruber, W. Friesenbichler, More gloss, fewer weld lines with variothermal molding
- [17] M.J. Oliveira, A.M. Brito, M.C. Costa, Gloss and surface topography of ABS: A study on the influence of the injection molding parameters
- [18] <http://www.hb-therm.ch/hosting/Gabag/HB-Therm.nsf/vwallbyKey/home%7Cde> (08/11/2014)

- [19] <http://www.ptonline.com/columns/you-must-dry-hygroscopic-resins> (08/07/2014)
- [20] <https://www.byk.com/en/instruments/products/?a=1&b=3&f=0&faction=#fam2> (08/07/2014)
- [21] Belgisch Instituut voor Normalisatie (BIN), Meting van de ruwheid van koudgewalste, niet beklede dunne stalen plaat en band
- [22] Mitutoyo America Corporation, Surface Roughness Measurement, Practical tips for Laboratory and workshop
- [23] <http://www.diavite.com/index.php/compact-en.html>(07/07/2014)
- [24] http://www.sandvik.coromant.com/nl-nl/knowledge/materials/measuring_surfaces/Pages/default.aspx (13/08/2014)
- [25] <http://www.alphaomegapt.com/pdf%20files/Surface%20Finish%20Definitions.pdf> (13/08/2014)
- [26] <http://www.rubert.co.uk/faqs/roughness-parameters/> (13/08/2014)

Lijst van bijlagen

- 1. ISO 527-1/1A**
- 2. Tempereerapparaten HB-THERM Thermo-5**
- 3. POLYCARBONAAT MAKROLON 1260 (Bayer)**
- 4. POLYCARBONAAT ACRYLONNITRIL BUTADIEEN STYREEN BAYBLEND T65 HG (Bayer)**
- 5. DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY**
- 6. CAPILLAIRE RHEOMETER**
- 7. BYK GARDNER MICRO TRI-GLOSS**
- 8. DIAVITE COMPACT II**
- 9. QUASAR 50**

1. ISO 527-1/1A



Dimensions in millimetres

Specimen type	1A	1B
l_3 Overall length		> 150 ¹⁾
l_1 Length of narrow parallel-sided portion	80 ± 2	$60,0 \pm 0,5$
r Radius	20 to 25	≥ 60 ²⁾
l_2 Distance between broad parallel-sided portions	104 to 113 ³⁾	106 to 120 ³⁾
b_2 Width at ends		$20,0 \pm 0,2$
b_1 Width of narrow portion		$10,0 \pm 0,2$
h Preferred thickness		$4,0 \pm 0,2$
L_0 Gauge length		$50,0 \pm 0,5$
L Initial distance between grips	115 ± 1	l_2 ³⁾

NOTE — Specimen type 1A is preferred for directly-moulded multipurpose test specimens, type 1B for machined specimens.

1) For some materials, the length of the tabs may need to be extended (e. g. $l_3 = 200$ mm) to prevent breakage or slippage in the testing jaws.

2) $r = [(l_2 - l_1)^2 + (b_2 - b_1)^2] / 4 (b_2 - b_1)$

3) Resulting from l_1 , r , b_1 and b_2 , but within the indicated tolerance.

2. Tempereerapparaten HB-THERM Thermo-5

HB-THERM
THERMO-5

Technische gegevens

Basisuitrusting

Hydraulisch	Gesloten circuit; geen zuurstofcontact met meer efficiënte automatische vulling en ontluchting
	Continue onderhoudsvrije doorstroming met Ultraschall
	Verkalking- en piekvrije koeling met koelwaterfilter en proportioneelventiel
	Proportioneel geregelde koeler-bypass (bij apparaten boven 100 ° C)
	Pomp uit RVS (INOX); Energie efficiency klasse IE2
	Hydraulisch circuit uit corrosiebestendige materialen
	Verwarmingselementen zonder direct watercontact
	Eenvoudige omstelling op separate aansluiting voor systeemwater
	Druk verhogingspomp voor systeemvulling (bij waterapparaten boven 100 ° C)
	Geregelde systeemdruk (bij waterapparaten)
	Bypass en terugloopfilter
	Omloopcircuit met bovenliggende koude olie (bij olieapparaten)
	Tank met vulstandmeting voor expansie en matrijsleggen (bij olieapparaten)
Functies	Matrijs legen d.m.v. omkeren pomp in retour
	Gelijkmatige lastverdeling over alle verwarmingsgroepen d.m.v. halfgeleiderrelais
	Zelfoptimerende cascadereregeling
	Naar keuze regeling op voorloop of terugloop (externe voeler, indien aanwezig)
	Continue koeling en automatisch afschakelprogramma
	Omschakelen op een 2e sol-waarde
	Cyclisch vervangen van systeemwater instelbaar
	Solwaarderampen en rampenprogramma
Bewaking / Veiligheid	Automatische grenswaardeninstellingen
	Bewaking van diverse procesparameters
	Bewaking op slangbreuk en lekkage
	Bewaking van thermovoelerbreuk
	Bewaking van pomp en verwarmingstroom
	Droogloopbeveiliging
	3-voudige veiligheidsafschakeling van de verwarming
	Drukvijschakeling bij apparaat UIT
	Overdrukveiligheidsventiel en manometer aan de achterzijde
	Automatisch draairichtingaanpassing en fasenbewaking
Vergrendelbare wielen uit PUR	
Bediening / Weergave	TFT-kleurendisplay 3,5" met gebruikermenu en online helpfunctie in taal naar keuze
	Doorstroom-, pompdruk- en procesvermogenweergave
	Weergavevenster en -waarden vrij instelbaar
	Temperatuurweergave in 0,1 ° C
	Maateenheden voor temperatuur, doorstroming en druk instelbaar
	Optische en akoestische storingsmelding; geluidsterkte instelbaar
	USB-aansluiting aan de voorzijde (Host / Device) voor software-updates en overname van parameters
	Opslaan van matrijsspecifieke parameters
	Weergeven van reële waarden op opslagmedium
	Weergave van datum en tijd
	Schakelklok met instelbare schakeltijden per dag
	Bedrijfsurenteller en service interval weergave
	Logboek voor storingen
	Invoerbeveiliging d.m.v. code

180 °C Enkelvoudig apparaat
Water

Technische specificaties

Temperereerapparaat		Warmtegeleider	Water	
		Koeling	Indirect	
Type	met maximale voorlooptemperatuur in °C		HB-180Z	
		Bouwgrootte (→S. 13, aft. 5)	Z	3
Verwarming (→S. 12, aft. 2)	kW		8	●
			16	○ ¹⁾
			32	○
Pomp	afdichtingloos, RVS.; 0,5 kW; 30 L/min, 52 m		2M	●
(→S. -2, aft. 3)	afdichtingloos, RVS.; 1,0 kW; 50 L/min, 70 m		4M	○ ¹⁾
		afdichtingloos, RVS.; 2,8 kW; 110 L/min, 70 m	6M	○ ¹⁾
		afdichtingloos, RVS.; 3,5 kW; 160 L/min, 70 m	8M	○
Koeling (→S. 12, aft. 4)	30 kW @ 60 K		A2	●
		50 kW @ 60 K	B2	○
		50 kW @ 60 K	C2	○
Opties	Aansluiting voor alarm en externe besturing		ZB	○
		Aansluiting voor externe voeler	ZE	○
		Interface HB-THERM internal	ZI	○
		Interface DIGITAL	ZD	○
		Interface CAN	ZC	○
		Interface PROFIBUS DP	ZP	○
		Pompslijtage-bewaking	ZU	○
		Bescherming bedienpaneel	ZK	○
		Cleanroom pakket	ZR	○
Netspanning	400 V (380-415 V), 50 Hz, 3LPE		405	●
		100 V (330-115 V), 60 Hz (50/60 Hz), 3LPE	406	○
		210 V (200-220 V), 50 Hz, 3LPE	215	○
		210 V (200-220 V), 60 Hz (50/60 Hz), 3LPE	216	○
		460 V (440-480 V), 60 Hz, 3LPE	466	○

Voorbeeld bij bestelling: HB-180Z2-16-4M-A2-ZE-ZD, 405, Nederlands

Voorlooptemperatuur max.		°C	180	180
Afmetingen	Hoogte	mm	700	850
	Breedte	mm	240	300
	Diepte	mm	661	982
Cewicht	ca.	kg	74	150
Complsvolume apparaat	ca.	l	2,1	6,5
Aansluiting voor-, terugloop	Schroefdraad		G¾	G1 ¼
	Beastbaar	bar, °C	25, 200	25, 200
Aansluiting koelwater	Druk	bar	2-5	2-5
	Schroefdraad		G¾	G¾
Aansluiting separaat systeemwater	Beastbaar	bar, °C	10, 100	10, 100
	Druk	bar	2-5	2-5
Legen	Schroefdraad		G¾	G¾
	beastbaar	bar, °C	10, 100	10, 100

● Basiskonfiguring ○ Optioneel ¹⁾ Typische uitvoering

Technische wijzigingen voorbehouden

3. POLYCARBONAAT MAKROLON 1260 (Bayer)

Eigenschappen

Product Texts			
<ul style="list-style-type: none"> • MVR (300 °C/1.2 kg) 34 cm³/10 min • impact modified • low viscosity • easy release • available in light colors only 			
Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	33	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	300	°C	ISO 1133
Load	1.2	kg	ISO 1133
Molding shrinkage, parallel	0.7	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	0.7	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	2350	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	63	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	5.8	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	>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
Puncture - maximum force, +23°C	4800	N	ISO 6603-2
Puncture - maximum force, -30°C	5700	N	ISO 6603-2
Puncture energy, +23°C	50	J	ISO 6603-2
Puncture energy, -30°C	55	J	ISO 6603-2
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Glass transition temperature, 10°C/min	142	°C	ISO 11357-1/-2
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	122	°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	70	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	70	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at thickness h	V-2	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.8	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Oxygen index	30	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 100Hz	3.1	-	IEC 60250
Relative permittivity, 1MHz	3	-	IEC 60250
Dissipation factor, 100Hz	10	E-4	IEC 60250
Dissipation factor, 1MHz	100	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	>1E13	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	>1E15	Ohm	IEC 60093
Electric strength	34	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	250	-	IEC 60112

Other properties	Value	Unit	Test Standard
Water absorption	0.3	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.12	%	Sim. to ISO 62
Density	1200	kg/m ³	ISO 1183
Rheological calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Density of melt	1020	kg/m ³	-
Thermal conductivity of melt	0.214	W/(m K)	-
Spec. heat capacity of melt	2100	J/(kg K)	-
Eff. thermal diffusivity	1E-7	m ² /s	-
Ejection temperature	130	°C	-
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Injection Molding, melt temperature	280	°C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	80	°C	ISO 10724
Injection Molding, injection velocity	200	mm/s	ISO 294

Voordelen

- Hoge temperatuurbestendigheid
- Uitstekende mechanische eigenschappen
 - Taai
 - Hoge slagvastheid
 - Hoge stijfheid

Nadelen

- Hoge smeltviscositeit, dus moeilijk te verwerken
- V-inkepinggevoeligheid
- Spanningsgevoeligheid

4. POLYCARBONAAT ACRYLONNITRIL BUTADIEEN STYREEN BAYBLEND T65 HG (Bayer)

Eigenschappen

Reference Data						
Typical Properties	Test Conditions	Units	Standards	Bayblend®		
				T45	T65	T85

Rheological properties

Spiral flow length	260 °C; 2 x 0.7 mm	mm	Bayer test	450	410	345
C Melt volume-flow rate (MVR)	260 °C; 5 kg	cm ³ /(10 min)	ISO 1133	12	12	12
Molding shrinkage, parallel	150x105x3; 260 °C /	%	based on ISO 2577	0.55 - 0.75	0.55 - 0.75	0.55 - 0.75
Molding shrinkage, normal	150x105x3; 260 °C / MT 80 °C; 500 bar	%	based on ISO 2577	0.55 - 0.75	0.55 - 0.75	0.55 - 0.75

Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)

C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2100	2200	2300
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	49	52	55
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	3.7	4.2	4.7
Stress at break	50 mm/min	MPa	ISO 527-1, 2	40	45	48
Strain at break	50 mm/min	%	based on ISO 527-1,-2	> 50	> 50	> 50
Izod impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-1U	N	N	N
Izod impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 180-1U	N	N	N
Izod notched impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-1A	40	45	48
Izod notched impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 180-1A	36	41	38

Thermal properties

C Temperature of deflection: under load, HDT, method A1	1.80 MPa	°C	ISO 75-1, 2	95	100	100
C Temperature of deflection: under load, HDT, method B1	0.45 MPa	°C	ISO 75-1, 2	112	122	127
Wicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	112	120	131
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359-1,-2	0.85	0.8	0.75
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359-1,-2	0.9	0.85	0.8
C Burning behavior UL 94	0.85 mm	Class	UL 94	HB	HB	HB

Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)

C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	3.1	3.1	3.1
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	3.0	3.0	3.0
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	35	30	28
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	85	85	85
C Volumic resistivity		Ohm.m	IEC 60093	1E14	1E14	1E14
C Surface resistivity		Ohm	IEC 60093	1E16	1E16	1E16
C Electric strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	35	35	35
C Comparative tracking index CTI	Solution A	Rating	IEC 60112	275	250	225

Other properties (23 °C)

C Water absorption: saturation value	in water at 23 °C	%	ISO 62	0.7	0.7	0.7
C Water absorption: equilibrium value	at 23 °C; 50 % r. h.	%	ISO 62	0.2	0.2	0.2
C Density	-	kg/m ³	ISO 1183	1100	1130	1150

Processing conditions for test specimens

C Injection molding-Melt temperature	-	°C	ISO 294	260	260	260
C Injection molding-Mold temperature	-	°C	ISO 294	80	80	80
C Injection molding-Injection velocity	-	mm/s	ISO 294	240	240	240

Voordelen

- Goede verwerkbaarheid (ABS)
- Lage krimp
- Hoge temperatuurbestendigheid (lager dan puur PC)
- Uitstekende mechanische eigenschappen
 - Taai
 - Hoge slagvastheid (lager dan puur PC)
 - Hoge stijfheid
 - Meer glans (ABS)

Nadelen

- Lagere treksterkte

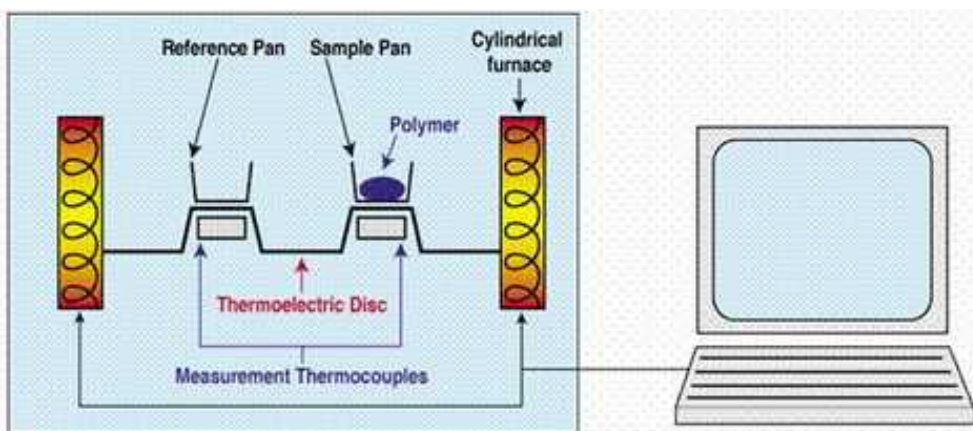
5. DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY

Principe

Met behulp van een DSC toestel kunnen we nagaan bij welke temperaturen er in het materiaal (PC en PC ABS) toestandsveranderingen optreden. Een verandering (sprong) in de opgemeten grafiek duidt onder andere de glastransitietemperatuur aan, deze is belangrijk voor het bepalen van de matrijstemperatuur bij het variotherm spuitgieten.

Werkwijze

Een korrel ($\pm 5\text{mg}$) van het polymeer wordt in een aluminium pannetje simultaan met een leeg referentiepannetje opgewarmd met een gelijkmatige snelheid (10 of $20^\circ\text{C}/\text{min}$), daarna terug afgekoeld en wederom opgewarmd. De energie die hiervoor nodig is wordt gemeten. Bij het optreden van een chemische of fysische reactie in het polymeermonster zal energie in de vorm van warmte opgenomen (endotherm) of vrijgegeven (exotherm) worden. Deze energieopname - of afgifte wordt door een piek aangeduid in de grafiek.



Figuur 49: Differential Scanning Calorimetry

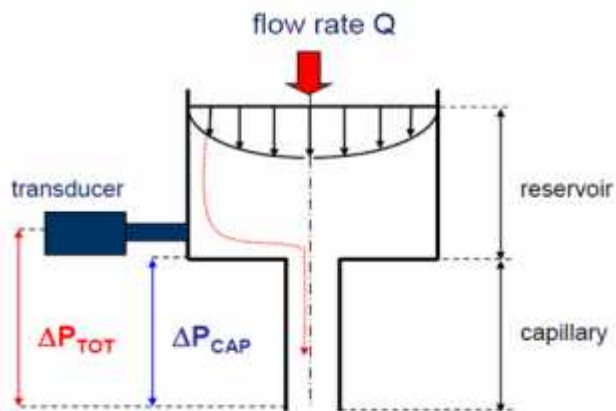
6. CAPILLAIRE RHEOMETER

Principe

Een capillaire reometer wordt gebruikt om de viscositeit in functie van de afschuifsnelheid en temperatuur voor kunststoffen te bepalen. Omdat hierbij de afschuifsnelheden relatief hoog zijn, is deze info relevant voor het spuitgietproces. Viscositeit is een eigenschap van het polymeer die de weerstand tegen vloeien of de "traagvloeibaarheid" van de smelt weergeeft.

Werkwijze

Korrels van het te testen polymeer worden in een verwarmde cilinder gebracht. Er ontwikkelt zich een smelt, die door middel van een plunjer door een gestandaardiseerde matrijs met gekende lengte en diameter wordt geperst. De druk die juist boven de matrijs in de cilinder heerst wordt met behulp van een drukopnemer geregistreerd. Door de plunjer met verschillende snelheden te bewegen kan de viscositeit bepaald worden bij verschillende afschuifsnelheden en kan een volledige viscositeitcurve opgemeten worden.



Figuur 50: Capillaire reometer

Toepassingen

- Opstellen van een viscositeitcurve voor vloeisimulatie;
- Bepalen van de vloeisnelheid bij verwerking;
- Bepalen van eventuele degradatie.

7. BYK GARDNER MICRO TRI-GLOSS

micro-TRI-gloss

See changes under the right angle – always and right away

High – medium – low gloss: What is your application?
micro-TRI-gloss combines 20°, 50°, 85° in one glossmeter – as handy as the one angle unit. Having three geometries in one unit allows you to be in compliance with international standards and to quickly recognize quality variations.



All selected angles measure at the same location and the results are displayed instantly – including Statistics, Difference or Pass/Fail. The micro-TRI-gloss has all functions of the new glossmeter generation readily at hand.

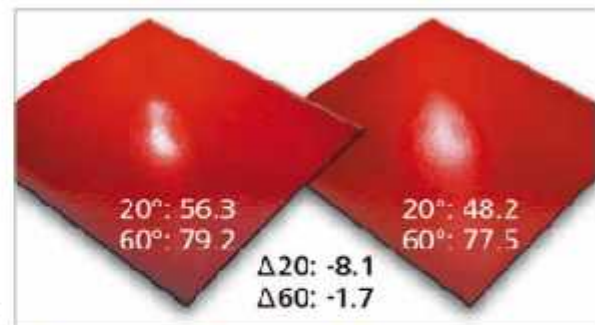


The micro-gloss family: Overview of functions

Long-term calibration	with automatic check of the calibration standard
Autorange	0-2000 GU (20°) 0-1000 GU (60°) 0-160 GU (85°)
Measuring time	0.5 seconds / geometry
Statistics	number of readings per sample are selectable from 2 to 99
Difference and Pass/Fail	memory for 50 standards with limits
Continuous	actual value, average, min., max.
Display in 3 columns selectable	actual value, average, std. dev., min., max., range, difference, pass/fail
micro-TRI-gloss	simultaneous display 2 or 3 geometries
Memory	999 readings with date and time, with recall function
Interface and Software	USB and Bluetooth®; easylink (infrared)
Menu guidance switchable	English, French, German, Italian, Japanese, Polish, Portuguese, Russian, Spanish
Auto shut-off time	selectable: 10 – 99 seconds
Power supply	one 1.5V AA Alkaline Battery 10,000 readings or via USB-port
Operating temperature	15 – 40 °C (60 – 104 °F)
Relative humidity	up to 85 %, non-condensing



In order to obtain differences clearly over the whole range from matte to high gloss, three measurement geometries were specified in International glossmeter standards. Each geometry is optimized for a specific gloss range.



The different gloss of these two samples is more clearly shown in the 20° readings.



8. DIAVITE COMPACT II

TECHNICAL DATA	DIAVITE COMPACT II AND DH-8	
Parameters	<ul style="list-style-type: none"> > ISO/DIN: Ra, Rz (DIN), Rmax, R3z, Rt, Rq (RMS), Rk, Rp, Rv, Rpk, Rvk, MR1, MR2, Rpc, C1, C2, percentage contact area, C0, Cz > JIS: Ra (JIS), Rz (JIS) > ISO 12085: R, AR, Rx > additional parameters possible with optional PC software 	
Measuring range	<ul style="list-style-type: none"> > Ra, Rq: 0–20.00 µm 0–800 µin > All other measuring values: 0–350.0 µm 0–1400 µin 	
Resolution	<ul style="list-style-type: none"> > Ra, Rq: 0.001 µm > All other measuring values: 0.01 µm 	
Output	USB interface	DH-8: option Bluetooth
Humidity	max. 80 %, not condensing	
Languages	German, English, French, Italian, Spanish, Polish	
Tracing system	Analog hall effect technology with high linearity output signal	
Diamond tip	Radius: 5 µm, 90° (standard) or 2 µm, 60° (option)	
Tracing skid	25 mm (standard tracer)	
Static measuring force	Stylus < 0.5 mN	
Static tracking force	Skid < 0.15 N	
Tracing speed	COMPACT II: 0.5 mm/s	DH-8: 0.25, 0.5 und 1.0 mm/s
Reverse speed	1.0 mm/s	
Motor unit	VH (tracer with skid) or VHF (all tracers with and without skid)	
Dimensions instrument	COMPACT II: 140 x 75 x 60 mm	DH-8: 245 x 130 x 78 mm
Dimensions motor unit	ca. 20 x 33 x 136 mm (with supporting shoe)	

Made in Switzerland

Specifications subject to change without prior notice!

9. QUASAR 50

Quasar 50

Advanced Universal Testing Machines

The 50 kN Quasar is the product of state of the art design, built to the highest quality levels and has many advanced technical features.

Programming tests and monitoring results can be controlled through our powerful and intelligent Graphwork 4.0 test software, which allow complete and accurate data management in

Graphwork 4.0 test software, which allow complete and accurate data management in accordance with European, North American and International Standards.

This instrument is suitable for use both in production lines where the operator has to be fast and efficient and can accurately control the test with the optional remote control unit, and also laboratory environments where the advanced software lets users analyse the test data. Graphwork 4 allows full control of processing, filing, managing, and transmitting data to the company network, database, and performs many other functions.

This Quasar frame has a flexible and modular construction. It can be equipped with various grips and fixtures, as well as extensometers, additional load cells, temperature chambers and many more accessories, for a wide range of applications (tensile, compression, flexure, etc.).

In addition, this user-friendly instrument can be fitted with additional load cells with lower capacities, providing the highest resolution and accuracy for micro-loads.

TECHNICAL SPECIFICATIONS:

Frame Capacity	50 kN (11,000lb)
Standards met or exceeded	ASTM E4, EN-ISO 7500/1
Lcd reading resolution	1/200000 f.s.
Stroke resolution	0,1 micron
Speed at maximum load	0,0005-500 mm/min.
Idle speed	500 mm/min.
Controlled total stroke	1000 mm (40in.)
Maximum daylight between connecting adapters	1000 mm (40in.)
Daylight between columns	410 mm (16 in.)
(Potential to extend minimum certified load at 1/500 f.s.)	
Power Supply	230V/50-Hz or 120V/60Hz
Power consumption	650 W
Machine weight (without accessories)	255Kg (561 lb)
(A compressed air line at six bar is required for some options)	

DIMENSIONS:

Height	1535 mm (64 in.)
Width	790 mm (31 in.)
Depth	790 mm (30,5 in.)

Paint:	
Fixed parts	Silver RAL 9005/Black RAL 9011
Moving parts	Black RAL 9011

- Two-column rigid system with 50 kN maximum capacity
Suitable for metals, plastics, composites and other materials
- Stylish design and advanced features
- One-Year Warranty
- Flexible and modular design for easy future expansion
- Key technical advantages include extremely high resolution of load and stroke readings, as well as minimum test speed of 0,0005mm/min, for the high performance and most accurate results
- Manufactured by an ISO 9001 –certified company
- Excellent price-to-quality ratio



Galdabini Spa, via Giovanni XXIII, 1R3, 21010 Cantello al Campo (VA), Italy
Ph. ++39 0331 732.700
Fx. ++39 0331 730.650

E-mail: info@galdabini.it
Web: www.galdabini.it



Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Optimalisatie van de optische en mechanische eigenschappen van de vloeilijn van variotherm gespuitsgiete producten

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Lijnen, Wim

Datum: **25/08/2014**