



IO2040 Industriële productie

Specialisatieproject - kunststof co-extrusie

Groep 8
Dirk Ammerlaan
Caroline Beck
Thijs Niks
Tim Overkamp
Daan Roks
Tommy Toll

Begeleidend docent Zoltan Rusak

Datum: 22 januari 2007

IO2040 Industriële Productie Specialisatieproject - Kunststof co-extrusie

Groep 8

T.M.H. Ammerlaan
C.M. Beck
M.C. Niks
T.W.J. Overkamp
D.J.P. Roks
T.A. Toll

Begeleidend docent

Zoltan Rusak

Voorwoord

Dit verslag is gemaakt voor het vak IO2040 Industriële Productie, dat onderdeel uitmaakt van de bachelor van de opleiding Industrieel ontwerpen aan de Technische Universiteit Delft.

Het rapport bevat de resultaten en conclusies van diverse analyses die uitgevoerd zijn met betrekking tot het productieproces co-extrusie. Deze resultaten zijn toegepast op een concreet productontwerp, waar een case is aangeleverd door het ontwerpbureau MMID te Delft. Hierbij is het groepsproces buiten beschouwing is gelaten.

In het kader van het verslag heeft een excursie plaatsgevonden naar het co-extrusiebedrijf Enitor BV te Buitenpost. Bij dezen willen wij onze dank betuigen voor de gastvrijheid en openheid van de kant de directie en de medewerkers van Enitor.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	5
2. Probleemstelling	6
3. Taakverdeling	7
4. De bedrijven	8
4.1. MMID	8
4.2. Enitor	8
4.3. Beknopt bedrijfsproces en logistiek Enitor	8
5. Kunststof co-extrusie	9
5.1. Mogelijkheden van kunststof co-extrusie	9
5.2. Voorzijde	9
5.3. Thermoplastische materialen en het gedrag	10
5.4. Proces en apparatuur	12
5.5. Analytische procesbenadering	15
5.6. Kostprijs berekening	18
5.7. Ontwerpregels	20
6. Bestaand ontwerp: aluminium profiel	21
6.1. Analyse huidig ontwerp	21
7. Herontwerp: kunststof profiel	23
7.1. Herontwerpvoorstel	23
7.2. Toegepaste mogelijkheden van kunststof co-extrusie	24
7.3. Haalbaarheid herontwerp	25
8. Referenties	27
9. Appendix: Excursie Enitor	15

1. Inleiding

Door het hoge tempo waarin technologische ontwikkelingen elkaar opvolgen, neemt ook het aantal toepassingen van de techniek toe. Hierdoor wordt het spectrum aan verschillende productieprocessen steeds groter. Om als industrieel ontwerper een keuze te maken tussen verschillende productieprocessen voor de productie een ontwerp, is het noodzakelijk dat in een korte tijd veel en diepgaande kennis verworven kan worden. Deze vaardigheid komt vooral van pas als het een jong, opkomend productieproces betreft.

Het doel van dit onderzoek is om in een relatief kort tijdsbestek informatie in te zamelen over wat kunststof co-extrusie inhoudt en wat de mogelijkheden zijn met betrekking tot het productontwerpen. Hiermee wordt de bovengenoemde vaardigheid ontwikkeld. De opgedane kennis over het proces wordt vervolgens toegepast op een herontwerp van een display-tray voor sigarendoosjes.

Allereerst wordt de probleemstelling behandeld, die het uitgangspunt heeft gevormd voor dit project. Deze probleemstelling is aangeleverd door het Delftse ontwerpbureau MMID.

Ten tweede worden van dit bedrijf en van het kunststof co-extrusie bedrijf Enitor BV een kort overzicht gegeven met de belangrijkste aspecten van de beide ondernemingen. Dit hoofdstuk geldt als een stukje achtergrondinformatie.

Het derde deel van het verslag bevat de informatie die onder andere is verzameld tijdens het bezoek aan Enitor BV behandeld. Aan de hand hiervan wordt een beeld geschept van de proceseigenschappen van co-extrusie en de consequenties die deze eigenschappen hebben op het product dat geproduceerd wordt door middel van co-extrusie.

Ten slotte wordt een overzicht gegeven van de verschillende voorstellen die gemaakt zijn voor het herontwerp, inclusief een schatting van de productieprijzen en de haalbaarheid van het ontwerp.

2. Probleemstelling

MMID heeft een onderzoeksvraag uitgeschreven met de focus op het veranderen van het huidige ontwerpproces en productieproces van een aluminium display-tray (zie afbeelding hieronder).



Fig 2.1: Het display-tray in gebruik

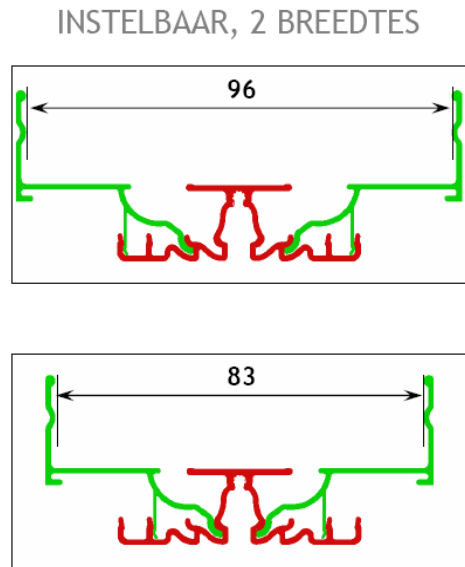


Fig 2.2: Twee instelbare breedtes

Momenteel wordt het product vervaardigd door aluminium extrusie. De vraag is of dit kan worden vervangen door kunststof co-extrusie. Met een seriegrootte van 200.000 stuks dienen dezelfde functionaliteiten te worden aangeboden zoals de verstelbaarheid. De maattoleranties zijn aangegeven in de onderstaande tekeningen:

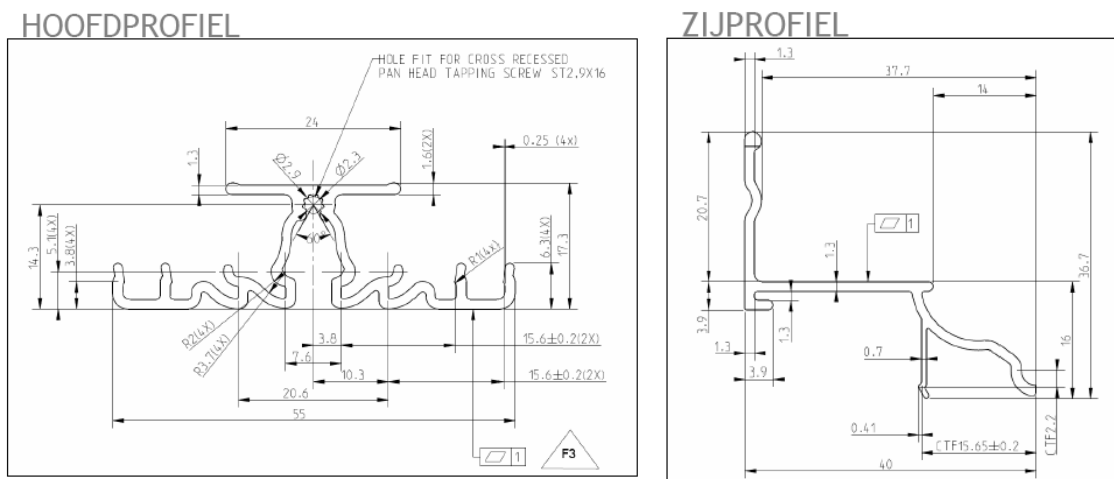


Fig 2.3: Bemating extrusieprofiel

In het nieuwe ontwerp dienen de zijprofielen te worden geïntegreerd in één geheel. Stuksprijs en investeringen moeten worden berekend. Daarnaast moet er een sterkte en tolerantie analyse gemaakt worden en onderzocht worden wat de kwaliteit van het zagen van de extrusie is. Ook is relevant hoe het kunststofproduct verkleurd tijdens het vervaardigingsproces en tijdens het gebruik.

3. Taakverdeling

Aandachtsgebied groepslid 1 en 2: TECHNIEK

Verantwoordelijk voor het bestuderen van de productiemogelijkheden en de beperkingen. Heeft als aandachtsgebied tijdens de excursie om de implementatie van het productieproces bij Enitor B.V. nauwlettend te analyseren.

Aandachtsgebied groepslid 3 en 4: ONTWERP EN MOGELIJKHEDEN

Verantwoordelijke voor het in kaart brengen van het huidige product en zijn functionaliteiten. Het aandachtsgebied is het omzetten van het huidige ontwerp naar een nieuw extrusie profiel.

Aandachtsgebied groepslid 5: FINANCIEN EN KOSTENBEREKENING

Verantwoordelijk voor alle financiële aspecten binnen het nieuwe domein van kunststof co-extrusie. Aandachtsgebied is het optimaliseren van de kosten binnen de nieuwe productiemethode op het gebied van materiaal, matrijs, cyclustijd en dergelijke.

Aandachtsgebied groepslid 6: LOGISTIEK

Verantwoordelijk voor alle logistieke aspecten binnen het nieuwe productieproces, van ruw materiaal tot aan het eindproduct. Heeft als aandachtspunt tijdens de excursie het analyseren van de logistiek binnen Enitor B.V.

4. De bedrijven

4.1. MMID

MMID heeft de opdracht van ons project gespecificeerd. Dit ontwerp bureau uit Delft onderscheidt van andere bureaus door een integrale productontwikkeling. In dit project is MMID vooral geïnteresseerd in de toepasbaarheid van kunststof co-extrusie en de vertaling van het aluminium profiel naar het kunststof profiel.

4.2. Enitor

Enitor uit het Friese Buitenpost is een pionier op het gebied van kunststof co-extrusie. Het huidige bedrijf is onderdeel van Filtrona plc, dat 38 productiebedrijven onder zich heeft. Enitor is een volcontinu bedrijf en de huidige 230 werknemers zijn verdeeld over 75 extrusielijnen waaronder co-, tri- en quad-extrusie. Enitor is actief in veel verschillende marktsegmenten waaronder bouw & constructie, waterzuivering, winkelinrichting, en de transportsector.

Naast extrusie kan er bij het bedrijf ook gestanst worden en is het mogelijk om reclameafbeeldingen te drukken met behulp van hotfoil-techniek. Daarnaast kunnen barcodestickers, tape, beschermingsfolie in lijn aangebracht worden.

Het bedrijf richt zich met deze extrusielijnen voornamelijk op complexe extrusieprofielen. Het bedrijf biedt hoge kwaliteit in combinatie met een goede service, korte leveringstijden van matrijzen en profielen en denkt mee bij het ontwerpproces. De matrijzen worden binnen 6 tot 12 weken vervaardigd. Indien een matrijs al beschikbaar is, kunnen de eerste profielen binnen 2 weken al geleverd worden.

Daarnaast biedt het bedrijf haar klanten zekerheid door brandveilige opslag van de matrijzen en door alle processen intern te regelen. Enitor werkt volgens drie verschillende ISO normen (ISO 9001-2000, ISO 14001 & ISO 18001) die staan voor minimale milieubelasting en optimale arbeidsomstandigheden.

4.3. Beknopt bedrijfsproces en logistiek Enitor

Het primaire bedrijfsproces omvat het uitvoeren van alle productietaken die nodig zijn om een product bij de klant te brengen. Bij Enitor begint dit met het samenwerken met de klant aan het (optimaliseren van het) ontwerp, en eindigt het bij het afleveren van het product.

Na de ontwerpfase van het product wordt een matrijs ontworpen en gemaakt. Dit kan gebeuren door een extern bureau, maar gebeurt meestal in het extrusiebedrijf. Deze matrijs wordt vervolgens getest en geoptimaliseerd. In dit laatste zit vaak een hoop handwerk en vakkennis.

De volgende stap in het productieproces is het inrichten van een productielijn. Alle benodigde machines worden verzameld en ingesteld. Afhankelijk van de benodigde snelheid worden er meerdere lijnen in gebruik genomen.

Aansluitend in de productielijn kunnen andere processen dan co-extrusie toegepast worden. Zoals het printen van informatie op het product, het aanbrengen van lijmlagen en dergelijke. Afsluitend wordt het product op maat gezaagd en in gepakt of op rol opgeslagen.

Deze fabrikaten worden kortstondig opgeslagen in een bijbehorend magazijn en daarna zo snel mogelijk getransporteerd naar de klant.

5. Kunststof co-extrusie

5.1. Mogelijkheden van kunststof co-extrusie

- Verminderen van het aantal onderdelen door geïntegreerde scharnieren door middel van gecombineerde elastomeren en thermoplasten. Dit kan de assemblage van het eindproduct eenvoudiger of overbodig maken.
- Het maken van gesloten en open profielen.
- Het vervaardigen van complexe profielen.
- Combinaties van transparante en niet-transparante materialen in een in één keer ge-extrudeerd profiel.
- Combinaties van verschillende kleuren in een in één keer ge-extrudeerd profiel. Mogelijk zijn alle RAL en Pantone kleuren, zilver en speciale UV-bestendige materialen.
- Mengeffecten zoals nerf structuur door verschillende smelttemperaturen van verschillende materialen en verschillende kleuren.
- De mogelijkheid tot zeer nauwkeurig produceren met hoge snelheid. De toleranties bij het extruderen van kunststof kunnen 0,3 tot 0,4mm bedragen.
- De mogelijkheid tot het gebruik van gerecyclede kunststof. Dit heeft een financieel voordeel en is een milieubewustere keuze.
- Een veelvoud aan in lijn bewerkingen.
 - Stansen;
 - Op maat maken;
 - Hot Foil vasthechten;
 - Barcode stickers plakken;
 - Inktjet printen van barcodes;
 - Dubbelzijdig Tape plakken;
 - Beschermfolie aanbrengen;
 - Hout fineer buitenlaag aanbrengen.

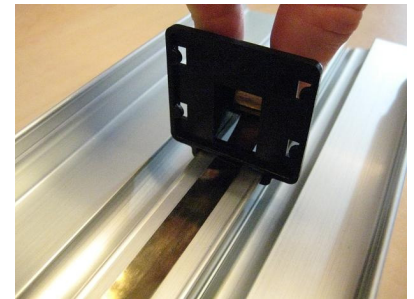


Fig 5.0: schuifmechaniek

5.2. Voorzijde

Er is een afweging gemaakt of de voorzijde van de display-tray en het schuifmechaniek (zie fig 5.0) hergebruikt zullen worden in het nieuwe ontwerp. De voor- en nadelen worden hieronder genoemd.

Bestaande voorzijde	Nieuwe voorzijde
1. Geen nieuw ontwerp maken	1. Veel ontwerpvrijheid
2. Financieel haalbaar	2. Eventueel assemblage tijd bekorten
3. Geen wijzigingen in assemblage proces	3. Geen maat beperkingen
4. Relatief eenvoudig herontwerp van profiel door veel verplichte bemating	4. Mogelijkheid tot DFA

De verwachting is dat het behouden van deze twee onderdelen goedkoper zal zijn voor het eindproduct. Er hoeven nu geen nieuwe matrijzen en/of inkooponderdelen aangeschaft te worden. Tevens blijft de assemblagelijns hetzelfde, waardoor er geen extra inrichtingskosten gemaakt hoeven te worden.

Hiermee wordt rekening gehouden in het nieuwe ontwerp. De verbindingen met bijbehorende maten moeten hierbij overgenomen worden.

5.3. Thermoplastische materialen en het gedrag

Het extruderen van kunststofproducten kent in het 2D vlak veel mogelijkheden; de ontwerp vrijheid is relatief groot. De maatgevende factor van deze extrusieproducten ligt qua kosten bij het vormbepalende gereedschap, in dit geval de matrijs. Naargelang de seriegrootte een toename ondervindt, zal de kostprijs dalen. Afval is er nauwelijks. Dit komt omdat het gewenste product op elke lengte af te zagen is in combinatie met een continu proces.

Bekende voordelen zijn efficiënt materiaalgebruik in producten, minimale aantal fabricage stappen voor het eindproduct, integratie van montage of assemblage in het extrusieproces en soms zelf eliminatie van assemblage. Dit punt is belangrijk binnen het principe van co-extrusie.

Verder zijn er nog de algemene voordelen die kunststoffen bieden, hierbij kan gedacht worden het bestand zijn tegen chemicaliën en de flexibiliteit van productdelen. De toepassingen van kleur, textuur en overige visuele- en tactiele effecten zijn veelzijdig.

5.3.1. Thermoplastisch gedrag

Verwerking van thermoplasten is te beschouwen als een omzetting van een materiaal of halffabrikaat naar een andere vorm. Kort gezegd van granulaat tot product. De termen "thermoplast", "thermoharder" en "rubber" (elastomeer) moeten niet worden gezien als aparte materiaaltypen, maar als karakteristieken of fasen.

Deze verschillende karakteristieken van kunststoffen kunnen ook in combinatie voorkomen. De bekendste zijn de thermoplastische elastomeren die ook weer diverse soorten kennen. Al deze eigenschappen hebben invloed op de verwerking van de kunststof. Hiermee moet rekening gehouden worden tijdens de productie.

Om thermoplasten om te zetten van granulaat tot product is er sprake van een warmte-stroom. Er is warmte nodig om het tot smelt te krijgen waarna het weer afgekoeld wordt voor stolling. Gezien deze thermische spanningen in het product, dient men rekening te houden met krimp. Deze verschijnselen hangen gecompliceerd samen met materialen, maakprocessen, procesparameters en geometrie.

Belangrijke karakteristieken van een thermoplastische smelt zijn de viscositeit en de compressibiliteit. Viscositeit kan omschreven worden als de weerstand tegen stroming. Hoe hoger de viscositeit hoe stroperiger het materiaal en hoe lager de afschuifsnellheid van de moleculen.

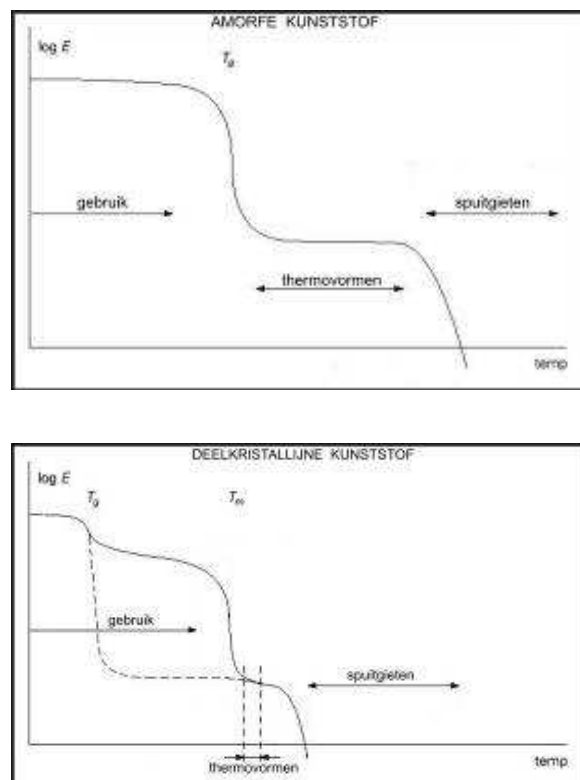


fig 5.1: $\log[E]$ - T grafieken voor thermoplasten

Alle bovengenoemde karakteristieken van thermoplasten zijn niet constant. In fig 5.1 is schematisch te zien wat de verschillen zijn tussen amorfe en deeltkristallijne kunststoffen wat betreft de E-modulus versus de tijd.

De warmtegeleiding en warmtecapaciteit samen resulteren in de warmteoverdracht. In relatie tot metalen is de warmtegeleidingcoëfficiënt in de orde van 1/1000. De warmtecapaciteit van thermoplasten is in de ordegrootte van tienmaal die van metalen.

Ter illustratie van de warmtecapaciteit als functie van de temperatuur is hiernaast in fig 5.2 een grafiek weergegeven. Het betreft een deeltkristallijne thermoplast. Rond het smeltpunt van de kristallijne fase is een piek te zien die staat voor de extra benodigde warmte. Deze warmte dient dus in de afkoelfase ook weer geheel afgevoerd te worden.

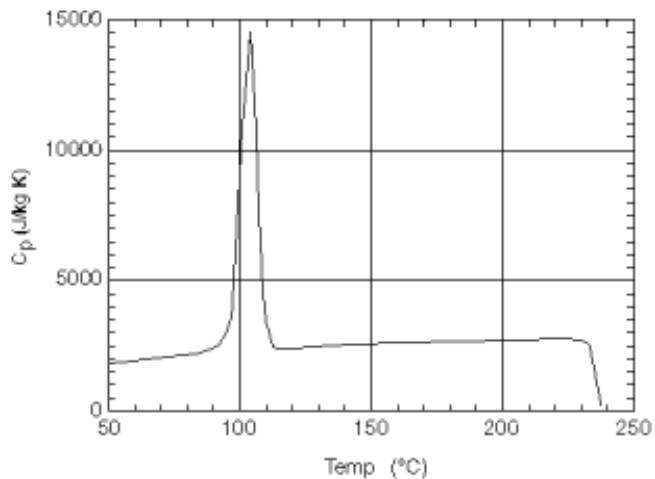


Fig 5.2: C_p -T grafiek deeltkristallijne thermoplast

Indien een thermoplast een slechte warmtegeleiding heeft, is dit ten nadelen voor de smeltbaarheid. Verwarming dient dan in een plat kanaal te gebeuren in combinatie met efficiënt transport richting de matrijs. Als reactie hierop is de extrusieschroef ontwikkeld.

De beginstof, het granulaat, wordt door deze extrusieschroef verplaatst dankzij draaiing in de juiste richting. Naarmate het granulaat richting de matrijs komt, wordt de opening nauwer door het taps toelopen van de schroef. Dit gaat gepaard met verwarming van het granulaat tot smelt. Deze korrels hebben een afmeting van enkele millimeters zodat ze door het kanaal kunnen. Zie fig 5.3.



Fig 5.3 granulaat

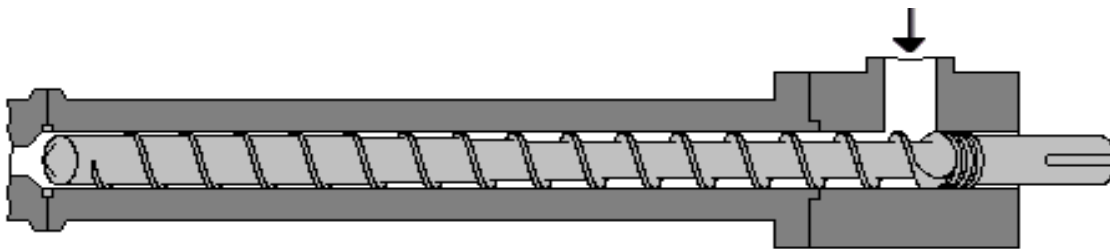


fig 5.4: Principe plastificeerschroef voor smelten van thermoplasten; in de plastificeercilinder rondom de schroef bevinden zich verwarmingsbanden.

Het principe van een extrusieschroef, fig 5.4, wordt gebruikt voor vrijwel alle processen waarin thermoplasten via de smelt worden omgezet in een product. Het draaien van de schroef zorgt voor een continue voeding van de smelthoeveelheid.

Hoe hoger de temperatuur en/of hoe hoger de afschuifsnelheid, hoe lager de viscositeit. Een thermoplast met een te lage viscositeit kan ongeschikt zijn voor extrusie, omdat het product dan geen vorm behoud nadat het uit de matrijs komt. Zie ter illustratie fig 5.5.

Het zeer snel afkoelen van een zojuist geëxtrudeerd product resulteert in een kortere cyclustijd wat lagere kosten met zich mee brengt. Verder zal de krimp in het product minder zijn naarmate de afkoelsnelheid toeneemt. Tijdens de levensduur van het product treedt dan echter verdere krimp op.

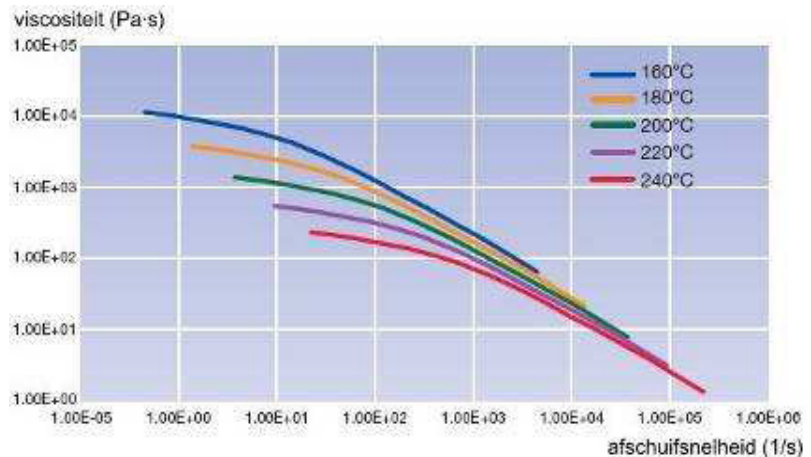


fig 5.5: viscositeit als functie van afschuifsnelheid bij verschillende temperaturen voor een HDPE (AtoFina)

Amorfe thermoplasten hebben over het algemeen een hogere molecuulmassa dan deeltkristallijne thermoplasten. Dit komt doordat de amorfe variant haar eigenschappen ontleent aan de polymerisatiegraad terwijl de deeltkristallijne stoffen dit grotendeels aan haar structuur doet. Hierdoor hebben amorfe thermoplasten in de regel hogere viscositeiten en slechtere warmtegeleiding.

5.4. Proces en apparatuur

5.4.1. Introductie

In dit hoofdstuk zal de gehele procesopstelling worden besproken van kunststof coextrusie met daarbij de mogelijkheden in apparatuur, het gedrag van het uitgangsmateriaal en het materiaal in de gewenste productvorm, tevens het krimpgedrag tijdens het proces, de mogelijke in lijn bewerkingen en tot slot de cyclustijd en de beïnvloedbare effecten hierop.

5.4.2. Apparatuur

In het hieronder volgende overzicht is de gehele productielijn geschematiseerd:

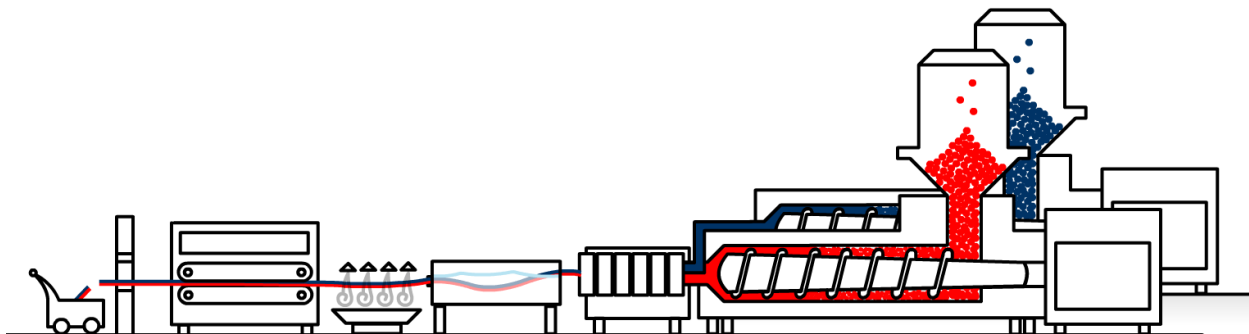


Fig 5.6: Schematische opstelling apparatuur

Hieronder volgt een fotoweergave van de onderdelen binnen het proces:

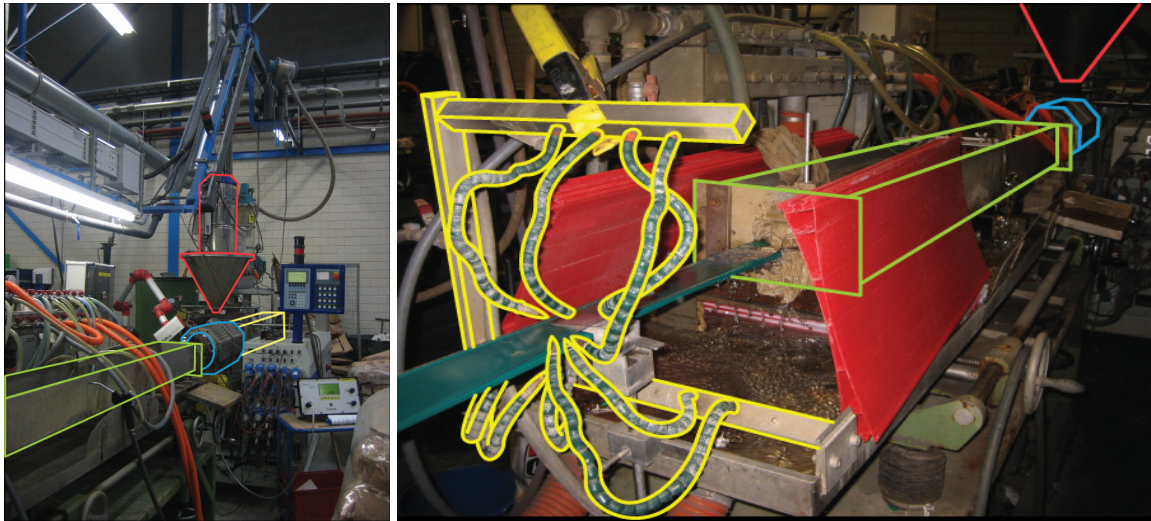


Fig 5.7: Foto opstelling apparatuur

1. Rood = Granulaattoevoer
2. Geel = Extrusieschroef
3. Blauw = Matrijs
4. Groen = Koelbad
5. Goud = Droogblazen

1. Granulaattoevoer

De grondstoffen voor de extrusieproducten staan in grote tonnen naast de machine. Met behulp van slangen worden korrels naar de trechter boven de machine gezogen. Naast de kunststoffen worden ook de gewenste kleurstoffen de machine ingepompt. Het is mogelijk kunststofproducten fijn te malen en opnieuw als grondstof te gebruiken. Bij meerkleurig regeneraat wordt koolstof gebruikt als kleurstof om zwarte extrusieproducten te creëren. Bij co-, tri- of quad-extrusie heeft iedere kleur of kunststof zijn eigen toevoer.



Fig 5.8: Granulaat

2. Extrusieschroef

In de extrusieschroef wordt de druk op de korrels naar de matrijs toe opgevoerd. Deze druk in samenwerking met de wrijving en verwarmingselementen zorgt ervoor dat de korrels hun smeltpunt bereiken en mengen met de kleurstof en/of andere vulstoffen. De gesmolten grondstoffen worden vervolgens onder grote druk door de matrijs heen gedrukt.

3. Matrijs

De matrijs is een lange persvorm die bestaat uit meerdere metalen schijven. De lengte zorgt ervoor dat het materiaal de tijd krijgt om af te koelen voordat het de matrijs verlaat. De matrijzen worden opgebouwd uit schijven, zodat bij een afwijking van de tolerantie (vaak als gevolg van slijtage) alleen de voorplaat, die de definitieve vorm van het profiel bepaalt, vervangen hoeft te worden, in plaats van de hele matrijs. De matrijsvorm loopt conisch toe. Dit is omdat het materiaal krimpt tijdens afkoeling. Een belangrijke kanttekening is dat mede door deze krimp de matrijs is over gedimensioneerd.

4. Koelbad

Bij het verlaten van de matrijs komt de ge-extrudeerde kunststof direct in het koelbad terecht. Dit is een lange bak met stromend water wat het profiel nog verder doet afkoelen om verdere vervorming te voorkomen.

5. Droogblazen

Om verdere in lijn bewerkingen en opslag te vergemakkelijken wordt het profiel na het koelbad droog geblazen. Een aantal slangen blaast het water uit alle hoekjes van het profiel.

6. Trekbank

Het profiel wordt met een constante snelheid de matrijs uitgedrukt. Omdat het niet mogelijk is een constant bewegend profiel te snijden, wordt er een buffer gecreëerd. Het profiel hangt een stuk los in de lucht en wordt vervolgens door de trekbank tussen 2 rupsbanden beetje bij beetje aangetrokken. Zodra de gewenste lengte is bereikt wordt het profiel afgesneden. De pauzes tijdens het aantrekken kunnen tevens gebruikt worden voor in lijnbewerkingen zoals boren of stansen.

7. In lijn bewerkingen

Enitor kent een groot aantal in lijn bewerkingen die toegepast kunnen worden op de extrusieprofielen. Dit maakt het mogelijk producten direct klaar voor verkoop te maken. Enkele voorbeelden zijn eerder opgesomd in hoofdstuk 5.1 Mogelijkheden van kunststof co-extrusie.

Al deze bewerkingen worden uitgevoerd door extra machines achter de productielijn te plaatsten. Deze machines staan allen op wieltjes waardoor ze gemakkelijk aan de kant te zetten zijn en flexibel ingezet kunnen worden.

Aan het einde van de cyclus is het mogelijk de profielen met behulp van een zaagunit af te snijden en direct in dozen of kratten op te slaan of het profiel op te rollen op een grote rol.

8. Cyclustijd

Complexiteit van het product en de in lijnbewerkingen zijn van grote invloed op de cyclustijd. Van simpele producten kan binnen 2 weken een levering verwacht worden. Bij ingewikkelde co-extrusies met uitgebreide in lijnbewerkingen kan de benodigde tijd snel toenemen. Iedere machine in de productielijn dient aangepast te worden voor het specifieke product. Het wisselen van matrijzen kan voor simpele producten binnen 4 uur gerealiseerd worden, bij complexe producten kan dit tot 2 dagen tijd kosten.

5.5. Analytische procesbenadering

5.5.1. Introductie

Vele productiemethoden kennen een analytische benadering om verschillende aspecten van het proces te kunnen voorstellen, sturen en optimaliseren. Ook het ontwerp van het eindproduct kan door diverse analytische redeneringen worden doorgerekend op mechanische eigenschappen tijdens gebruik. Hieronder volgen enkele methoden voor kunststof co-extrusie.

5.5.2. Procesbeheersing

Kunststof co-extrusie komt voort uit het reguliere extrusieproces. Zoals bekend is met metalen in de vorm van blenken¹ (ook wel billets) en kunststoffen in de vorm van granulaat. Van het extrusieproces zijn verschillende analytische methodes bekend om diverse aspecten van het proces te kunnen doorrekenen.²

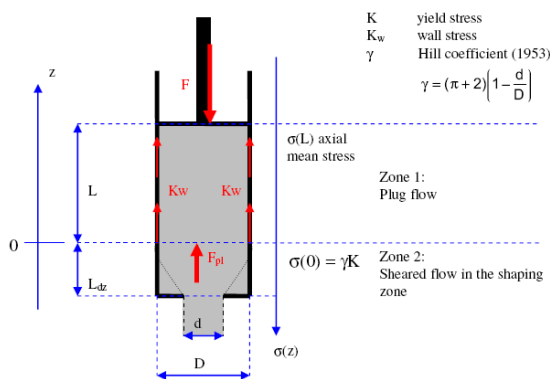


fig 5.9: Non-continue extrusie proces, krachtenanalyse

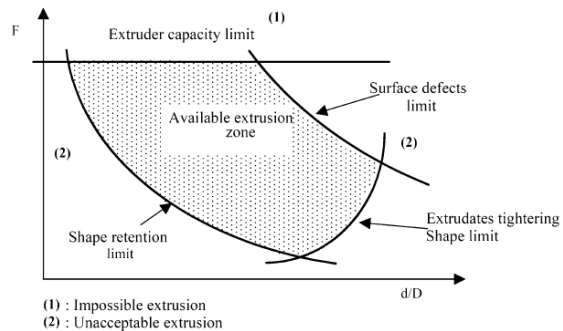


fig 5.10: Extrudeerbaarheidsdomein [Toutou]

In de schematische weergave hierboven is dit proces geanalyseerd op interne krachten tijdens het extrusieproces. In het bijzonder is de extrusie ratio interessant:³

$$\text{ratio} = d/D$$

Waarin d de diameter [mm] van extrusie is en D de diameter [mm] van het uitgangsmateriaal (blenk, zie fig 5.9). Deze verhouding kan hierna worden gebruikt voor het bepalen van het extrudeerbaarheidsdomein (zie fig 5.10) in combinatie met de kracht die door de extrusiemachine wordt uitgeoefend op het uitgangsmateriaal. Als de verhouding in gebied 1 of 2 van figuur 5.10 valt, is het niet mogelijk om te extruderen. Ontwerpen met waarden binnen het gearceerde gebied kunnen wel ge-extrudeerd worden.

Van kunststof co-extrusie zijn er geen benaderingen bekend, hoewel de bovenstaande methode op dit vlak veel overeenkomsten vertoont. De deels onvoorspelbare stroom van granulaat, de viscositeit tijdens het proces en de snelheid waarmee ge-extrudeerd wordt, zorgen er voor dat al deze aspecten een grote selectie aan onafhankelijke parameters genereert die bij elke co-extrusie verschillend kunnen zijn. Dit wordt door de grote ontwerpvrijheid van extrusieprofielen vergroot. Ervaring in het proces en *trial-and-error* onderzoek leidt tot een alsmat betere beheersing van het proces.⁴

5.5.3. Producteigenschappen

Extrusieprofielen worden in tal van producten toegepast. Het analytisch benaderen van het gedrag tijdens gebruik is daarom moeilijk in te schatten vanwege de grote implementatie. Hieronder zal echter een tweetal eigenschappen worden behandeld.⁵

Sterkte & Stijfheid

Berekening toelaatbare spanning

$$\sigma(\max) = E \cdot \varepsilon$$

$$[\text{MPa}] = [\text{MPa}] \cdot [-]$$

Berekening axiale verlenging

$$\Delta \ell = F \cdot L / E \cdot A$$

$$[\text{m}] = [\text{N}] \cdot [\text{m}] / [\text{GPa}] \cdot [\text{m}^2]$$

Berekening toelaatbare axiale belasting

$$\sigma(\max) = F / A$$

$$[\text{MPa}] = [\text{N}] / [\text{m}^2]$$

Berekening verlengingsverhouding

$$\varepsilon = \Delta \ell / L$$

$$[-] = [\text{m}] / [\text{m}]$$

Vervormbaarheid

Buiging

$$\sigma(\max) = M t / I_{zz}$$

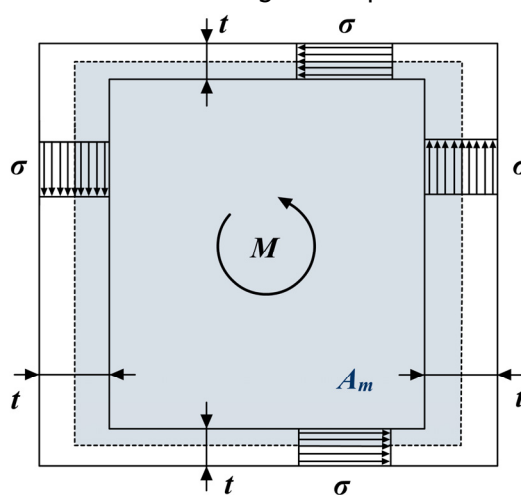
$$[\text{MPa}] = [\text{Nm}] / [\text{m}^4]$$

Traagheidsmoment bij buiging

$$I_{zz} = \int \int z^2 dA$$

$$[\text{m}^4] = \int \int [\text{m}] d[\text{m}^2]$$

Afschuifsterkte gesloten profielen



$$\sigma(\max) = M t / 2 A_m \cdot t$$

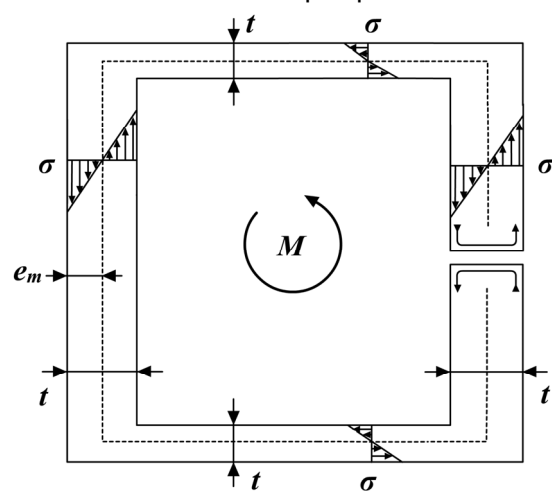
$$[\text{MPa}] = [\text{Nm}] / 2 [\text{m}^2] \cdot [\text{m}]$$

Ingesloten Oppervlak

$A_m = \text{breedte (haarlijn)} \cdot \text{hoogte (haarlijn)}$

$$[\text{m}^2] = [\text{m}] \cdot [\text{m}]$$

Afschuifsterkte open profielen



$$\sigma(\max) = M t \cdot e_m / \frac{1}{2} I_t$$

$$[\text{MPa}] = [\text{Nm}] \cdot [\text{m}] / \frac{1}{2} [\text{m}^4]$$

Torsietraagheidsmoment

$$I_t = \frac{1}{3} h \cdot t^3$$

$$[\text{m}^4] = \frac{1}{3} [\text{m}] \cdot [\text{m}^3]$$

Voorgaande formules kunnen worden gebruikt bij het ontwerpen van een desbetreffend profiel met de daarbij geplande lengte van toepassing. Als externe krachten op het extrusieprofiel werken, kan worden bekeken hoe deze het beste te positioneren en te monteren is aan de desbetreffende locatie. Gewenste toelaatbare spanningen kunnen hierbij leiden tot kritische aanpassingen in het ontwerp.

Zoals hierboven in de twee laatste profieloverzichten te zien is, maakt het wel degelijk verschil in het ontwerpen van een open of gesloten profiel in een geleidelijke verspreiding van de optredende afschuifsterkte.

5.5.4. Kenmerken co-extrusie producten

Kunststof extrusie producten zijn altijd profielen; langwerpige producten met een constante doorsnede. Bij extrusie bestaat het eindproduct uit één materiaal en bij co-extrusie uit twee materialen. Co-extrusie kan op twee manieren worden uitgevoerd; er kunnen verschillende materialen vloeibaar in een matrix samenkomen of twee materiaal stromen na individuele extrusie bij elkaar brengen.

Door de mogelijkheid van een product met verschillende materialen kunnen combinaties van transparante, gekleurde en flexibele materialen gemaakt worden. Door een flexibel materiaal tussen twee stijve delen te extruderen kan bijvoorbeeld een scharnier in het profiel geïntegreerd worden.

Alle extrudeerbare thermoplasten kunnen gebruikt worden. De enige voorwaarde hierbij is dat de verschillende materialen bij co-extrusie aan elkaar moeten hechten. Welke combinaties er mogelijk zijn, hangt af van de verwerkingstemperatuur, de elasticiteitscoëfficiënt en de onderlinge hechting.

Er zijn voor extrusieproducten een aantal ontwerpregels wat de maatvoering betreft. Algemeen geldt voor de wanddikte een minimale waarde van 0,3 tot 0,4 mm en de productdoorsnede bedraagt maximaal 40 cm.

Kunststof co-extrusie is geen goedkoop proces, maar dankzij de nieuwe technologieën kunnen meer functies geïntegreerd worden in één profiel en is nabewerking vaak niet meer nodig. Hierdoor is een specifiek extrusieproduct over het algemeen wel interessant.⁶

5.6. Kostprijs berekening

De kosten die bij het produceren van co-extrusie producten gemaakt worden, zijn onder te verdelen in een aantal posten. Specifieke informatie in dit hoofdstuk over prijzen zijn gebaseerd op getallen die verkregen zijn tijdens het bezoek aan Enitor. De belangrijkste kostenposten zijn:

1. Matrijskosten
2. Machinekosten
3. Materiaalkosten
4. Personeelskosten
5. Transportkosten



Verder bepalen de overhead-, verpakkings- en verzekeringskosten de totale kosten die gemoeid zijn met het co-extruderen. Aangezien er bij dit proces in principe alleen halffabricaten gemaakt worden, is er van assemblagekosten geen sprake.

5.6.1. Matrijskosten

De kosten van een co-extrusiematrijs variëren met de complexiteit van het te maken product en daarmee met de complexiteit van de extrusiemal zelf. Over het algemeen varieert de prijs van een co-extrusiemal van 15 000 euro tot 30 000 euro.

5.6.2. Machinekosten

Voor co-extrusie zijn een extruder en een mal alleen niet voldoende; er is een volledige productielijn met daarin ook een koel-, kalibreereenheid (*rups*) en een zaagunit opgenomen. Deze opstelling is enkele meters lang en kost in totaal ongeveer 400 000 euro. Het is wel mogelijk om meerdere nozzles (de uitgangen van de extruder, waardoor het gesmolten granulaat de matrijs in geperst wordt) aan te sluiten op één opstelling.

5.6.3. Materiaalkosten

De materiaalkosten lopen uiteraard sterk uiteen. Van een prijs per kilo van ongeveer één euro voor de veelgebruikte *commodity* kunststoffen, tot meerdere euro's voor de kunststoffen met speciale materiaaleigenschappen. Voor de bij co-extrusie veelvoorkomende materialen is de prijs per kilo opgenomen in de onderstaande tabel.⁷

Materiaal	Kosten [€/kilo]	Materiaal	Kosten [€/kilo]
PVC	1,85- 2,17	PP	1,04-1,19
PS	1,09-1,16	PE	1,27-1,39
ABS	1,49-1,06	TPE	1,18-1,62
ASA	2,49-2,71	PETG	1,85-2,04
PMMA	1,72-1,89	Houtvezel	2,29-3,06
PC	2,65-3,29		

Tabel 3.6.1 - Kosten veelvoorkomende materialen

Als bij de het extruderen gerecycled kunststof gebruikt wordt, zal de kiloprijs lager zijn dan de prijzen van de uitgangsmaterialen. Dit geldt vooral als het extrusieproduct een donkere of zwarte kleur heeft.

5.6.4. Personeelskosten

Het uurloon voor personeel dat de machines bedient, materiaal aanvoert en producten afvoert,

varieert per land. Hieronder is een overzicht gegeven van de urenlonen in populaire productielanden, alsmede het uurloon in Nederland. Dat de urenlonen in een aantal landen buiten Nederland over het algemeen lager liggen, betekent niet altijd dat er alleen maar voordelen hieraan gebonden zijn. De kostenpost van de personeelskosten valt weliswaar lager uit, maar er moet ook rekening houden met het feit dat in de lage-lonen landen niet alleen de lonen, maar ook de productiviteit van de werknemers over het algemeen lager ligt dan in Nederland. Uiteindelijk kan het uurloonvoordeel dus vervallen door de toegenomen productietijd.

	Nederland	Tsjechië	China
Uurloon [€]	29,10	8,20	2,10

Tabel 3.6.2 - Uurlonen in verschillende productielanden

5.6.5. Transportkosten

De transportkosten hangen af van de afstand die gereden moet worden en het te vervoeren gewicht. Zo kost het transporteren van één kilo naar een bestemming binnen Nederland co-extrusieprofiel 10 tot 12 eurocent. Het vervoeren van een volle vrachtwagen extrusieprofielen naar Engeland kost, ter vergelijking, ongeveer 1 400 euro.

5.6.6. Overige kostenposten

Van de overige kosten die gemaakt worden tijdens de productie, zijn zowel de overheadkosten als de kosten die gepaard gaan met verzekeringen specifiek per bedrijf en is er dus weinig te zeggen over deze posten. Over het algemeen geldt echter voor de overheadkosten dat deze ongeveer 10% van de totale kosten bedragen.

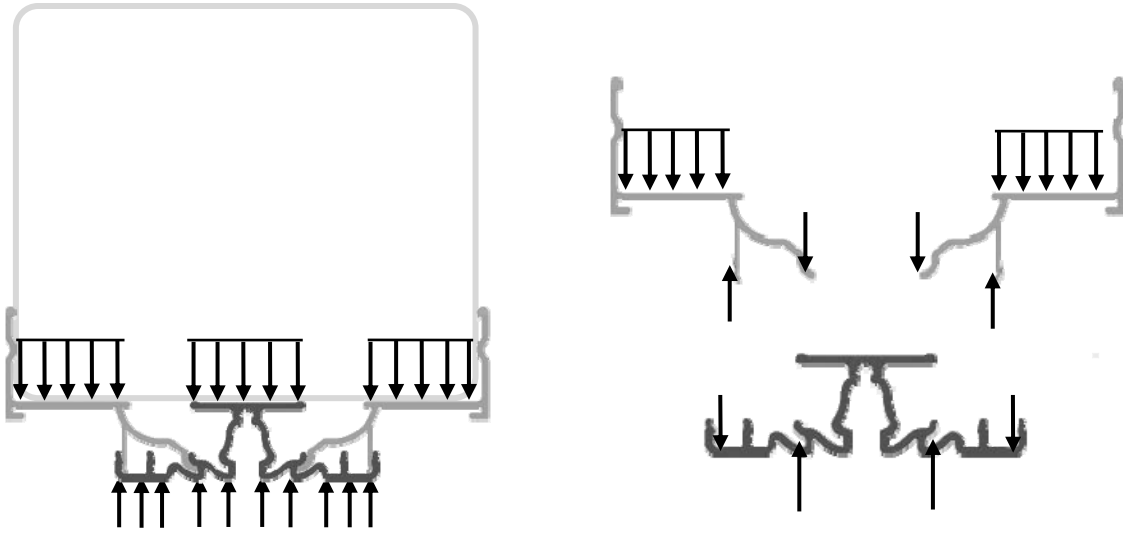
De verpakkingskosten verschillen ook per bedrijf, maar zijn wel van duidelijke criteria afhankelijk. De hoofdfactoren die de verpakkingskosten bepalen zijn de tijd die nodig is voor het verpakken van de producten of halffabricaten en het uurloon. Het product van deze twee grootheden levert de kosten op die gemoeid zijn met het verpakken. De tijd die nodig is voor het inpakken van de producten is afhankelijk van de complexiteit van het product en het aantal producten dat bij elkaar verpakt kan worden. Hoe meer producten namelijk in bijvoorbeeld één doos verpakt kunnen worden, des te minder tijd gaat verloren met het dichtplakken van deze dozen, het wegzetten ervan en het pakken van een nieuwe doos. Hierdoor zal dus de totale verpakkingstijd korter zijn en daarmee de verpakkingskosten lager.

5.7. Ontwerpregels

Uit de eerdere genoemde informatie komen ontwerpregels naar voren, die in achtgenomen dienen te worden bij het ontwerpen van een kunststof co-extrusie product. Een opsomming daarvan staat hieronder.

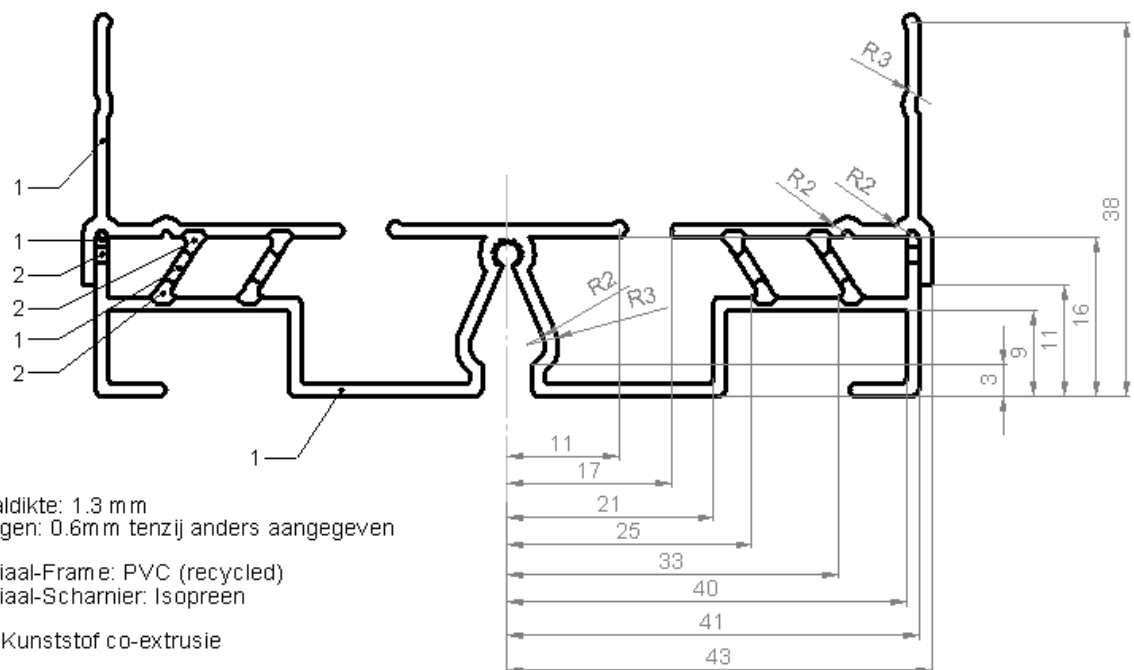
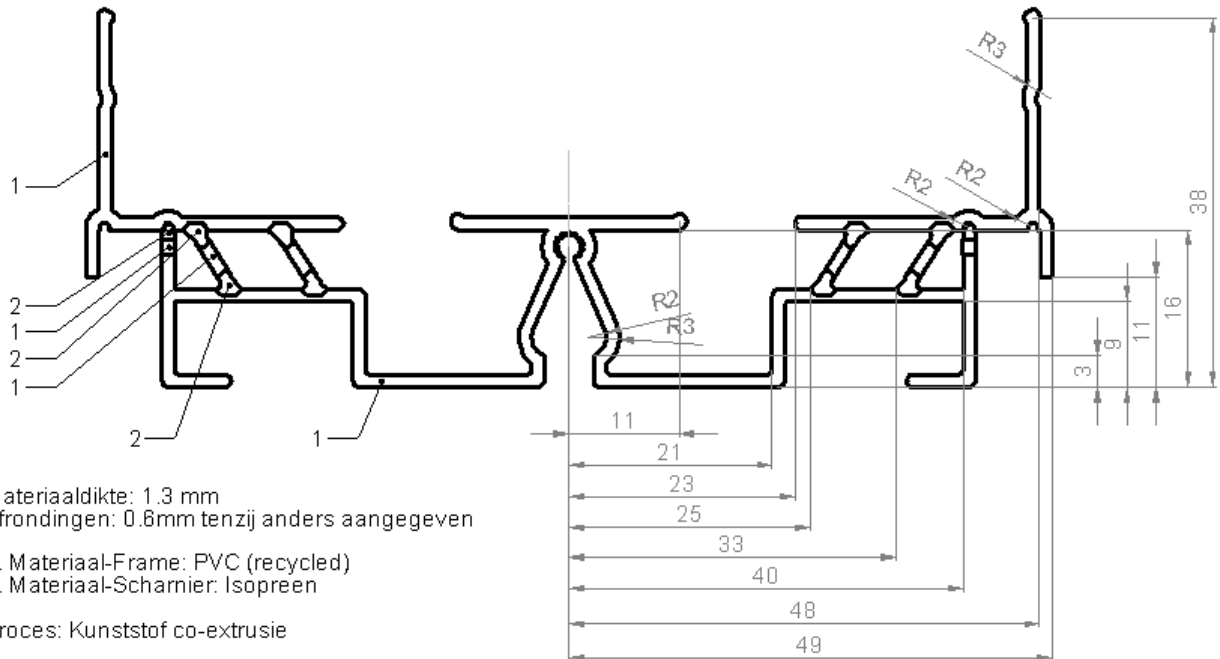
- De wanddiktes van het profiel moeten overal gelijk zijn.
- De minimale wanddikte is 1,3 tot 1,4 mm.
- Bij het ontwerpen moeten zoveel mogelijk functies geïntegreerd worden in een profiel. Dit is ontwerpen volgens de design-for-assembly-methode (DFA). Tevens maakt het optimaal gebruik van de co-extrusie technologie.
- Ribben en andere verstevigingsstructuren zorgen voor stijfheid in het product.
- Met kunststof extrusie kunnen scherpe hoeken gerealiseerd worden. Bij grote wanddiktes is echter wel afronding van de hoek aan te raden.
- In kunststof kan gebruik gemaakt worden van zelftappende schroeven in ge-extrudeerde gaten.
- Kunststof is relatief elastisch, waardoor klikverbindingen mogelijk zijn. Let op voldoende rek mogelijkheden binnen het profiel.
- Bij kunststof extrusie zijn er veel in lijn bewerkingen mogelijk, dit scheelt vaak nabewerkings- en assemblagetijd.
- Met co-extrusie is het mogelijk om profielen te maken die variëren in doorsnede van enkele millimeters tot ongeveer 40 centimeter.
- Bij extrusie met meerdere materialen moeten de kunststoffen aan elkaar kunnen hechten.

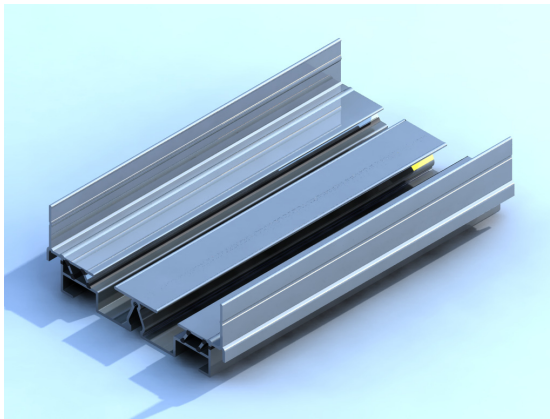
gebruik. Dit kan bij ontwerpproces aangehouden worden als richtlijn voor verstevigingen binnen het profiel.



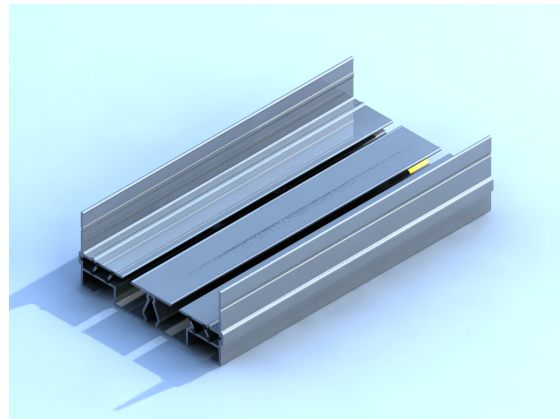
7. Herontwerp: kunststof profiel

7.1. Herontwerpvoorstel





Profiel open (97cm)



Profiel dicht (83cm)

7.2. Toegepaste mogelijkheden van kunststof co-extrusie

In hoofdstuk 5.1 zijn een aantal mogelijkheden voor het kunststof co-extruderen genoemd. Hieronder worden de toegepaste opties besproken.

- *Verminderen van het aantal onderdelen door geïntegreerde scharnieren door middel van gecombineerde elastomeren en thermoplasten. Dit kan de assemblage van het eindproduct eenvoudiger of overbodig maken.*

In het herontwerp is het aantal profielen teruggebracht van drie naar één. Dit door gebruik te maken van geïntegreerde scharnieren en klikverbindingen. Door het verminderen van de onderdelen zijn er twee assemblage handelingen minder nodig. Dit is volgens de DFA-richtlijnen.

- *Ribben en andere verstevigingsstructuren zorgen voor stijfheid in het product.*

Wij hebben voor een gesloten profiel gekozen, dit omdat het zo de stijfheid kan bieden die nodig is voor het product. Het kan door de geïntegreerde scharnieren nog steeds een beweeglijk en verstelbaar profiel blijven.

- *Combinaties van transparante en niet-transparante materialen in een in één keer ge-extrudeerd profiel.*
- *Combinaties van verschillende kleuren in een in één keer ge-extrudeerd profiel. Mogelijk zijn alle RAL en Pantone kleuren, zilver en speciale UV-bestendige materialen.*

Wij hebben in ons profiel geen gebruik gemaakt van een combinatie tussen transparant en niet-transparant materiaal. Verschillende gekleurde of een UV-bestendige materialen zijn een optie. De keuze is aan de opdrachtgever.

- *De mogelijkheid tot het gebruik van gerecyclede kunststof. Dit heeft een financieel voordeel en is een milieubewustere keuze.*

Het is goed mogelijk om gerecycled materiaal te gebruiken. Dit materiaal is dan donker van kleur en aanzienlijk goedkoper.

- *Een veelvoud aan in lijn bewerkingen (hoofdstuk 5.1)*

Het profiel kan nog voor de verpakking op maat gezaagd worden. Daarnaast is het aanbrengen van een houtfineerlaag een optie.

7.3. Haalbaarheid herontwerp

Voor de haalbaarheid van het product hebben wij twee beoordelingscriteria opgesteld: de financiële haalbaarheid en de technische haalbaarheid. Wij zullen dit beoordelen door het nieuwe kunststof co-extrusie ontwerp en de bijbehorende kosten te vergelijken met de kosten van het oude product gemaakt uit aluminium.

7.3.1. De technische haalbaarheid.

Het profiel is zo ontworpen dat het theoretisch mogelijk moet zijn om het te produceren. Wij zijn echter geen vakmannen op co-extrusie gebied en ontbreekt het ons aan voldoende praktijkervaring om te kunnen stellen of het profiel daadwerkelijk te produceren is. In de praktijk is het ook het geval dat het productiebedrijf de vakkennis in huis heeft om van het ontwerp een produceerbaar profiel te maken.

7.3.2. De financiële haalbaarheid.

Materiaalkosten: omdat er bij co-extrusie voor kunststof als materieel wordt gekozen in plaats van aluminium wordt er geld bespaard. Aluminium is relatief duur materiaal en wordt volgens een dagkoers op de London Metal Exchange verkocht. De afgelopen tijd heeft de kiloprijs van aluminium tussen de 2,00 en 2,20 euro gelegen. De materiaalsprijs van de kunststof is natuurlijk afhankelijk van de gekozen kunststof en de bijzondere eigenschappen die je dit materiaal wilt geven. Aangezien de profieldelen verscholen gaan achter het frontje van de displaytray, is als materiaal een recyclaat van PVC gekozen. Hierdoor vallen de materiaalkosten per kilo ongeveer één euro lager uit in vergelijking met het aluminium profiel. De totale kosten voor het co-extrusieprofiel zijn in de tabel hieronder weergegeven.

	Kunststof (recycled PVC)	Elastomeer (Isopreen)
Frontaal oppervlak	393,69 mm ²	35,01 mm ²
Inhoud van het profiel	$3.94 \times 10^{-4} \times 0,16 = 6,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3$	$35.01 \times 10^{-5} \times 0,16 = 5,60 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
Dichtheid	1400 kg/m ³	935 kg/m ³
Gewicht	$6,3 \times 10^{-5} \times 1400 = 0,09 \text{ kg}$	$5,60 \times 10^{-6} \times 935 = 0,005 \text{ kg}$
Prijs per kilo	± 1,60 euro	± 1,05 euro
Prijs per profiel	€ 0,144	€ 0,005
Totale kosten	€ 0,144 x 200.000 = € 28800,-	€ 0,005 x 200.000 = € 1000,-

Matrijskosten; Bij het kijken naar de haalbaarheid van het door ons ontworpen profiel is een aanzienlijk deel van de kostprijs de per product afgeschreven matrijskosten. Om dit te vergelijken met de aanvangskosten van de in aluminium geproduceerde versie hebben wij de volgende tabel opgesteld.

	Kunststof co-extrusie	Aluminium
Matrijs kosten. (€)	15.000 - 30.000 (incl. vacuüm)	2.000 - 3.000
Aantal matrijzen nodig	1	3
Totaal aan kosten (€)	30.000	8.000
Oplage	200.000	90.000 (totaal 360.000 profielen)
Per onderdeel afschrijven (€)	0,15	0,02

Productiekosten; de verschillende aspecten die bijdragen aan de productiekosten zijn het uurloon, of de machines volcontinu draaien of niet en de kosten van de machines per uur. Bij het vergelijken van het aluminium extrusie proces met dat van kunststof co-extrusie is het uurloon gelijk. De machine bij het co-extrusie proces werkt continu, tegenover het batchproces dat aluminium extrusie is. De extrusiesnelheid is wel gelijk, dus het verschil in productietijd wordt bepaald door het wisselen van de billets. Daar staat tegenover dat het co-extrusieproces

meer voorbereiding vereist, waardoor de totale productietijden van de beide processen elkaar niet veel zullen ontlopen.

Vervoer, logistiek en assemblage; in het nieuwe ontwerp zijn de drie losse profielen en de verbindingsstrip samengevoegd tot één co-extrusie profiel. Dit heeft een aantal voordelen: er hoeft maar een productielijn gevoerd worden en er zijn dus veel minder onderdelen. Er zijn echter ook nadelen, wat de reden is waarom wij de onderstaande tabel hebben opgesteld.

	Kunststof co-extrusie	Aluminium
Profielen	1	3 verschillende (4 totaal)
Inkoop onderdelen	6	6
Totaal aantal onderdelen	7	10
Assemblagehandelingen	4	3
Inpakhandelingen	1	5
Grootte van doos	Relatief groot	Kleiner
Gewicht van totaal product.	Lichter	Relatief zwaarder
Transportkosten	19000 kg x € 0,11= € 2090,-	Geen informatie beschikbaar

Uit de bovenstaande tabel valt te concluderen dat het kunststof profiel veel sneller in te pakken is en lichter is in vervoer. Echter is het aluminium profiel sneller te assembleren en kleiner, minder volume in vervoer. Wij denken dat het in kosten geen groot verschil zal maken.

7.3.3. Conclusie

Uit de hierboven behandelde punten blijkt dat het niet zo is dat één van beide productiemethodes duidelijk beter is dan de andere methode.

Een voordeel van co-extrusie is bijvoorbeeld het feit dat het profiel lichter is, waardoor het transport hoogstwaarschijnlijk goedkoper is. Doordat het profiel echter uit één deel bestaat, is de verpakking groter, waardoor er minder producten in een vrachtwagen passen. Verder zijn de materiaalkosten en de productietijd lager bij co-extrusie, terwijl de matrijkskosten bij aluminium extrusie lager zijn.

Vanwege dit verschijnsel dat de voordelen dus min of meer tegen elkaar wegvallen, is het lastig om in te schatten of het nieuwe profiel vanuit economisch opzicht een verbetering is ten opzichte van het aluminium profiel.

Het échte voordeel van het co-extrusie profiel is daarmee voornamelijk voor de gebruiker; doordat het verstellen van het profiel gemakkelijker is, is het kunststof profiel prettiger in gebruik.

8. Referenties

¹ Van Donk, R., De Ruiter de Wildt, T., Ligthart, I., Nieuwe mogelijkheden met coextrusie, TU Delft, 1998, p.1

² Perrot, A., Ram extrusion force for a frictional plastic material: model prediction and application to cement paste, Springer-Verlag 2006, p.459-460

³ Perrot, A., Ram extrusion force for a frictional plastic material: model prediction and application to cement paste, Springer-Verlag 2006, p.458

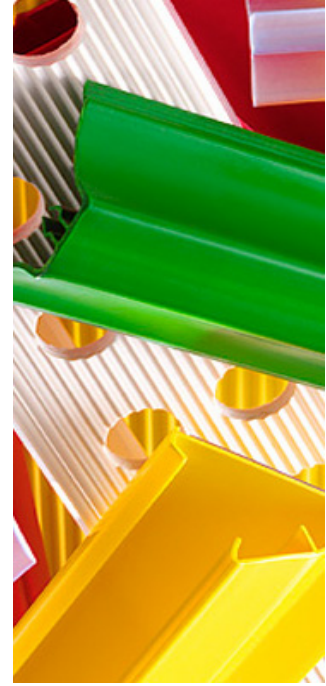
⁴ Schootstra, H., Enitor Bedrijfsexcursie & Productieproces presentatie, Enitor B.V., 18-12-2007

⁵ Hartsuijker, C., Deel 2,

⁶ Donk, R., de Ruiter de Wildt, T., Ligthart, I., Nieuwe mogelijkheden met co-extrusie, TU Delft, artikel IDE422, 1998

² CES EduPack - Materialendatabase

8. Appendix: Excursie verslag Enitor



Hans Schootstra - Directeur Enitor BV
Gastheer tijdens de gehele excursie



enitor bv
extrusion with a vision

Industriële Productie
Verwerkte Aantekeningen
Excursie Enitor 18 December 2007
Specialisatieproject: Kunststof Co-extrusie
Groep 8

Begeleidend docent: Zoltan Rusak

Voorwoord

Op dinsdag 18 december vond de excursie plaats in het kader van het vak Industriële Productie (IO2040) naar het kunststof co-extrusie bedrijf Enitor BV in Buitenpost, Noord Friesland. Dit document bevat alle aantekeningen die tijdens de excursie zijn gemaakt door groep 8 (2007/2008).

Dagindeling

Vertrek Delft	06:38 uur
Aankomst Buitenpost	10:34 uur
Ontvangst Enitor	10:50 uur
Algemene Presentatie	11:00 - 12:30 uur
Lunch	12:30 - 13:10 uur
Rondleiding Productiehal	13:10 - 13:45 uur
Afsluiting Excursie	13:45 - 14:00 uur
Vertrek Buitenpost	14:17 uur
Aankomst Delft	18:10 uur

Inhoudsopgave Aantekeningen

1. Procesinformatie co-extrusie	3
1.1. Basisopstelling Kunststof Co-extrusie	3
1.2. Vervaardiging & Onderhoud Matrijzen	3
1.3. Extrusie kalibreren	3
1.4. Productie Afval	3
2. Te verwerken materialen	4
3. Algemene informatie Enitor	5
3.1. Bedrijfshistorie	5
3.2. Focus binnen de B2B markt	5
3.3. Normen & Milieu	6
3.4. Toekomst	6
3.5. Belang van TU studenten	6
4. Notities tijdens de rondleiding door de productiehal	7

1. Procesinformatie co-extrusie

1.1. Basisopstelling Kunststof Co-extrusie

Een co-extrusie-opstelling bestaat uit vier onderdelen: de extruder, een kalibreer- en koelinstelling, een trekbank en ten slotte een zaagunit die de profielen op maat zaagt of snijdt. In de extruder wordt de ingot (de kunststof) in poedervorm ingevoerd en doormiddel van elektriciteit verwarmd tot een kauwgum die vervolgens door een matrijs wordt geperst door een roterende schroef (een *wokkel*).

1.2. Vervaardiging & Onderhoud Matrijzen

Deze matrijzen worden vervaardigd door middel van draadvonken (figuurzagen in metaal) en kunnen na een testrun enigszins aangepast worden door materiaal weg te halen, zodat de stroming van het materiaal geoptimaliseerd worden. Alle materiaalstromen moeten namelijk even snel lopen om een goed profiel over te houden. Met name bij het gebruik van verschillende aanvoerkanalen is dit een punt dat extra aandacht nodig heeft. Ongelijke materiaalstroming kan ook omgezet worden in een voordeel: het is namelijk mogelijk om houtstructuur te suggereren door materialen met verschillende smeltindices te mengen in de extruder. De ongelijke vloeisnelheid van deze materialen zorgt dan voor een nerfpatroon.

De matrijzen worden opgebouwd uit schijven, zodat bij een afwijking van de tolerantie (vaak als gevolg van slijtage) alleen de voorplaat, die de definitieve vorm van het profiel bepaalt, vervangen hoeft te worden, in plaats van de hele matrijs. Belangrijk is dat de matrijzen geen dode hoeken (plaatsen waar materiaal achter kan blijven) bevat en dat de wanddikte van het geproduceerde profiel (vrijwel) uniform is. Matrijzen worden binnen Enitor opgeslagen in een brandvrije kluis die in de loop der jaren is uitgebouwd tot een 2 vloerstellende ruimte. De vorm in de matrijs is vaak groter dan het uiteindelijke product, omdat het product bij koeling krimpt. Pas in de vacuümvorm krijgt het product zijn definitieve vorm. De vacuümvorm loopt dan ook conisch toe.

1.3. Extrusie kalibreren

Nadat het profiel ge-extrudeerd is, wordt het materiaal door een kalibreereenheid geleidt, de rups, die productspecifiek is. Hierin wordt het ge-extrudeerde materiaal aangetrokken met dezelfde snelheid als de extrusie-snelheid. Vervolgens wordt het profiel doormiddel van vacuüm tegen de wand van de rups afgekoeld en krijgt het profiel de definitieve vorm. Tijdens dit koelproces krimpt het profiel enigszins. De matrijs moet dus een lichte overdimensie hebben, om te voorkomen dat het uiteindelijke profiel te klein uitvalt. Verder moet de rups moet conisch toelopen, om te voorkomen dat het profiel vastloopt.

1.4. Productie afval

Het afval dat bij onder andere de testruns geproduceerd wordt, kan verzameld, vermalen en hergebruikt worden. In zwarte profielen kunnen mengsels van deze zogeheten regeneraten verwerkt worden, wat vaak ook leidt tot een lagere prijs voor de afnemer van het profiel. Ook in andere kleuren profielen kunnen regeneraten verwerkt worden, maar dit is minder aantrekkelijk omdat de aangevoerde regeneraten dan strikt op kleur gesorteerd worden.

1.5. Ontwerp beperkingen

Net als bij spuitgieten is het bij het extruderen van belang dat het product bestaat uit gelijke wanddikten. Dit voorkomt kromtrekken tijdens het koelen. Wanddikten zijn minimaal 0,3-0,4 mm dik.

1.6. Proces beperkingen

Het wisselen van de mallen op een machine kan van 4 uur tot wel 2 dagen tijd kosten.

2. Materialen

De volgende materialen kunnen (bij Enitor) verwerkt worden met behulp van co-extrusie:

- hard en zacht Polyvinylcarbonaat (PVC)
- Polystyreen (PS)
- ABS
- ASA
- PMMA
- Polycarbonaat (PC); wat *vandalismebestendig* is
- Polypropreen (PP)
- Polyethyleen (PE)
- thermoplastische elastomeren (TPE); te gebruiken in scharnieren
- Noryl
- een variant van polyethyleentereftalaat (PET) met een hogere elasticiteitsmodulus: PETG
- Houtvezels
- regeneraten (gerecyclede materialen)
- een combinatie van de bovenstaande materialen

2.1. Kleuren

Het bedrijf werkt standaard met RAL en Pantone kleuren, maar zilver, etc. is ook mogelijk. Producten die voor buiten bedoeld zijn worden gemaakt met UV-bestendig materiaal. Materiaalontwikkeling doet Enitor niet zelf maar gebeurt door toeleveranciers.

2.2. Nabewerking

- Stansen
- Hot Foil
- Barcode stickers
- Inktjet printen van barcodes
- Tape (om het product ergens aan vast te plakken)
- Beschermfolie

3. Algemene informatie Enitor

3.1. Bedrijfshistorie

De naam Enitor is afkomstig uit het Latijn en betekent “met moeite voortbrengen”. Het bedrijf is opgericht in 1938 en in 1956 begonnen met de extrusie van strips van fietskettingkasten. Daarnaast werden het vacuümvormen en spuitgieten bedreven, processen die later zijn afgestoten.

Het huidige bedrijf Enitor is onderdeel van Filtrona plc, dat 38 productiebedrijven onder zich heeft; verdeeld over twee hoofdgroepen van plastics en filters. Enitor is een vol continu bedrijf (23000m2) en de huidige 230 werknemers zijn verdeeld over vijf ploegendienst, zodat 24 uur per dag, zeven dagen per week productie gedraaid kan worden. Momenteel heeft het bedrijf 75 extrusielijnen, waaronder di-, tri- en quatro-extrusie. Naast extrusie kan er bij het bedrijf ook gestanst worden en is hotfoil drukken van reclameafbeeldingen mogelijk. Ook kunnen barcodestickers, tape, beschermingsfolie aangebracht worden.

Enitor BV	
Onderzoek	Productie
R&D afdeling	Mengerij
Laboratorium	Productie (75)
Matrijsbouw	Logistiek
Monsterkamer (profielen testen)	Matrijsopslag (brandvrije kluis)

3.2. Focus binnen de B2B markt

Enitor richt zich met deze extrusielijnen voornamelijk op de meer complexe extrusieprofielen en ontwikkelt daarmee de hevige concurrentie op het gebied van de eenvoudige profielen; Enitor gaat verder waar de concurrentie afhaakt. Het bedrijf biedt hoge kwaliteit, een hoog serviceniveau, korte leveringstijden van matrijzen (6-12 weken) en profielen (binnen 2 weken, als de matrijs al beschikbaar is) en denkt ook mee bij het ontwerpproces. Bij uitbesteding kan het maken van een matrijs tot wel 5 maanden in beslag nemen. Concurrentie binnen Nederland is relatief klein van 4 a 5 echte concurrenten, hoewel er in Duitsland meer dan 60 extrusie bedrijven actief zijn.

Daarnaast biedt het bedrijf haar klanten ook de nodige zekerheid door haar productie te verdelen over twee losstaande productiehallen (zodat snelle nalevering gewaarborgd is in geval van een calamiteit) en de opslag van de matrijzen in grote brandvaste kluizen. Verdere veiligheid wordt geboden door alle processen, van R&D tot kwaliteitscontrole, intern te regelen.

Het marktbereik omvat de gehele wereld, maar de focus van het bedrijf ligt bij de landen in de nabije omgeving, mede in het licht van het bedrijfsmotto “zonder contacten, geen contracten” met daarbij “Zaken doen is emotie”. Een order (opdracht) wordt namelijk gegund en contracten zijn vaak langdurig. Enitor is actief in veel verschillende marktsegmenten, waaronder bouw & constructie (waaronder kassen- en serrebouw), waterzuivering, winkelinrichting, en de transportsector. De producten worden vervoerd door een ander bedrijf, dat ook in Buitenpost gevestigd is.

3.3. Normen & Milieu

Enitor werkt volgens drie verschillende ISO normen: ISO 9001-2000, ISO 14001 & ISO 18001 die staan voor minimale milieubelasting en optimale arbeidsomstandigheden. Hoewel deze ISO normen verplicht zijn wordt door de klant weinig naar deze eisen gevraagd.

In de komende jaren heeft Enitor het plan om metaal stabilisatoren uit de kunststof extrusie mengsels te halen, hoewel deze ideale eigenschappen hebben. Het gaat hierbij om lood en tin. In 2008 moeten alle mengsels loodvrij zijn en in 2010 is dit het geval voor tin.

3.4. Toekomst

Aangezien het bedrijf zich in het hart van de plaats Buitenpost bevindt, is uitbereiding gelimiteerd. De komende drie jaar is nog voldoende ruimte om op de huidige locatie verder te groeien, daarna wordt gedacht aan uitbereiding naar Oost Europa.

3.5. Belang van TU studenten

De heer Schootstra heeft tijdens de opening van de excursie aangekaart dat het belang van deze bijeenkomst groot in het vaandel staan bij Enitor. Toekomstige ontwerpen dienen de voordelen en mogelijkheden te weten van dit veelzijdige productieproces.

Voorheen kwamen er afgeladen bussen vol TU studenten naar het productiebedrijf, echter is het een lange tijd stil geweest tussen Enitor en de TU Delft. Sinds kort is er weer contact, met waarschijnlijk de hoofdoorzaak het nieuwe curriculum, ook wel de nieuwe bachelor.

De heer Schootstra bevestigt dat het belangrijk is om samen te werken, hij nodigde daarom elke vraag die studenten mogen hebben telefonisch te beantwoorden door Enitor.

4. Notities tijdens de rondleiding door de productiehal

Nabewerking wordt gedaan door een selectieve groep werknemers die werken volgens de sociale werkplaats methode.

Matrijzen worden niet traditioneel schoongemaakt met glaskorrels, dit beschadigd de matrijs. Hedendaags wordt er ultrasoon schoongemaakt of doormiddel van schoonbranden.

Een “Magic Box” zorgt aan het einde van een productielijn voor kwaliteitscontrole.

Matrijsgoedkeuring:

- Rood : Matrijs is in constructie en nog niet goedgekeurd door de klant
- Blauw : Matrijs is productieklaar en goedgekeurd door de klant

In de werkhallen is er een Problemen/Oplossingen kabinet met allerlei informatie over het productieproces, met daarin een tal van blauwe mappen die elk een aandachtsgebied behandelen.