

# Meerlaags gieten van epoxyhars

Adriaan ter Horst (wb9365340) en Bas Röben (wb9698352)

## Samenvatting

Onderzocht wordt wat de factoren zijn die invloed hebben op de laagdikte waarbij polyester barst tijdens het uithardingsproces. Vervolgens wordt de invloed van een tweede laag uitgeharde polyester onderzocht. Het blijkt dat een goede warmtegeleiding van de matrijs het mogelijk maakt een grotere laagdikte te gieten, terwijl het hechten van het polyester aan de matrijs het tegenovergestelde effect heeft. Een tweede laag heeft een positief, maar gelimiteerd effect op de mogelijke laagdikte.

## Introductie

Dikke lagen epoxyhars worden gebruikt als vloerdeel of voor bijvoorbeeld het ingieten van elektronische componenten. Het gebruik hiervan wordt gehinderd door de krimpverschijnselen die optreden in het materiaal tijdens het uithardingsproces. In dit proces ontstaat er een chemische verandering (crosslinking) waardoor het materiaal krimpt. Tijdens de 'crosslinking' trekken de polymeren en de monomeren in het materiaal naar elkaar toe en vormen covalente bindingen<sup>1</sup>. Hierdoor krimpt het materiaal en ontstaan er spanningen die zodanig groot kunnen worden dat zij de sterkte van het materiaal overtreden en er barsten optreden. Aangezien uitharden op verhoogde temperatuur plaats vindt, is het thermische krimpen van het materiaal, dat gebeurt tijdens afkoeling, ook een factor van belang<sup>2</sup>.

Er is onderzoek gedaan naar de factoren die invloed hebben op de kritieke laagdikte van het polyester. De kritieke laagdikte wordt gedefinieerd als de laagdikte waarbij voor het eerst scheurverschijnselen optreden. De factoren die onderzocht zijn, zijn de volgende eigenschappen van de matrijsen; de warmtegeleidingscoëfficiënt en de hechtende capaciteit van de wanden.

De verwachting is dat een goede warmtegeleiding van de matrijs leidt tot regelmatig uithardend polyester en zo tot een grotere kritieke laagdikte.

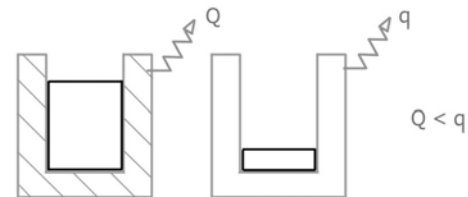
Een slechte warmtegeleiding van de matrijs betekent dat er meer warmte in het polyester blijft waardoor de reactiesnelheid verhoogd wordt. De interne spanningen nemen snel toe en overschrijden de breekspanning die niet genoeg is toegenomen als gevolg van de hoge reactiesnelheid.

Ook wordt verwacht dat een hechtende matrijs spanningsrelaxatie in het polyester toelaat die in de tegenovergestelde richting werkt van de interne spanningen. Dit zal ook een grotere kritieke laagdikte tot gevolg hebben.

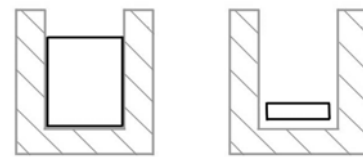
Als laatste wordt het effect van meerlaags gieten op de kritieke laagdikte onderzocht. Een uitgeharde laag onder de gegoten laag zal een deel van de spanningen opnemen waardoor de kritieke laagdikte van deze tweede laag groter wordt.

## Hypothese

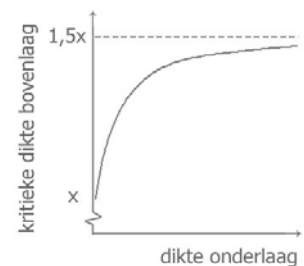
1. De kritieke dikte in een goed geleidend matrijs is groter dan in een slecht geleidend matrijs.



2. De kritieke dikte is groter wanneer het polyester aan de wand van de matrijs hecht dan wanneer dit niet gebeurt.



3. De kritieke dikte van de bovenlaag neemt asymptotisch toe met de dikte van de uitgeharde laag eronder, naar een maximum van 150% van de kritieke dikte (zonder onderlaag).



## Methode

Er is gekozen om met polyester te werken omdat dit minder visceus is en een hogere reactiviteit heeft dan epoxy. Hierdoor is er beter mee te werken en zijn de resultaten beter zichtbaar.

De invloed van de warmtegeleiding van de matrijs op de kritieke dikte wordt getoetst door de Teflon<sup>®</sup> matrijs met de ingevette aluminium matrijs te vergelijken. In beide matrijsen hecht het polyester niet aan de wand, dus is het verschil in kritieke dikte te wijten aan de warmtegeleiding van de matrijs. De warmtegeleidingscoëfficiënt van Teflon<sup>®</sup> is bijna vier keer hoger dan die van aluminium.

De tweede hypothese wordt getoetst door aluminium matrijsen met en zonder was met elkaar te vergelijken. Normaal gezien hecht polyester heel sterk aan aluminium, maar de was werkt dit tegen.

<sup>1</sup> Introduction to composite materials design; Ever J. Barbero

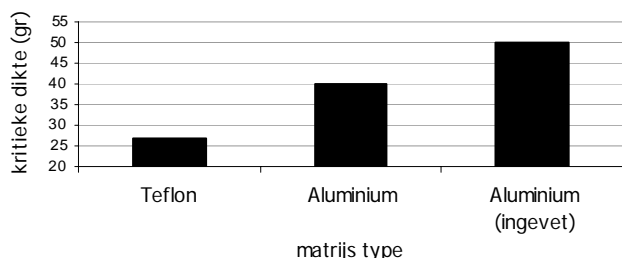
<sup>2</sup> Materials Science and Engineering; W.D. Callister Jr.

Uit de resultaten bleek de kritieke dikte het kleinst te zijn in de Teflon<sup>®</sup> matrijs (figuur 1), dus wordt er polyester bespaard door hierin meerlaags te gieten. Om de invloed van een basislaag te onderzoeken, wordt er op verschillende onderlaagdiktes variërend van 2 tot 16 gram een bovenlaag gegoten en hiervoor de kritieke dikte gezocht.

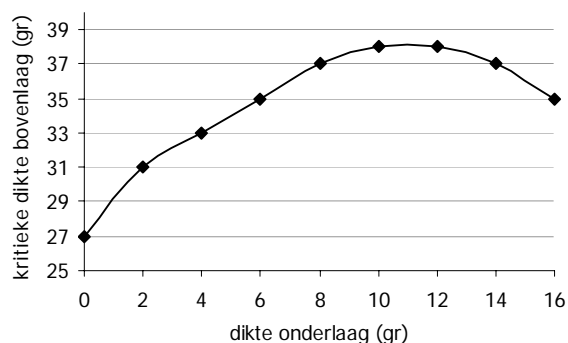
Per vergelijkende meting is een batch polyester gemaakt van Palatal P06-1, kobaltversneller en peroxide. Deze batches zijn in een vacuüm ontdaan van luchtbellens. Alle matrijzen worden vervolgens op kamertemperatuur gebracht en met behulp van een weegschaal gevuld. Deze matrijzen worden vervolgens vier uur uitgehard in een voorverwarme oven op 80°C. Alle metingen worden vervolgens twee keer herhaald om de reproduceerbaarheid te verifiëren. Na het uitharden van het materiaal worden eventuele scheuren en de mate ervan genoteerd.

### Resultaten

In figuur 2 zijn de kritieke diktes van polyester in de verschillende matrijzen te zien. Het verloop van de kritieke dikte van de bovenlaag afhankelijk van de dikte van de onderlaag wordt in figuur 3 weer gegeven.



figuur 1, kritieke dikte van enkele laag in verschillende matrijzen



figuur 2, kritieke dikte van tweede laag in teflon matrijs

### Discussie

Opmerkelijk tijdens de experimenten is dat het heel duidelijk is wanneer het polyester barst. Het materiaal barst of heel heftig of helemaal niet, waarbij ook geen kleine scheurtjes te zien zijn.

In figuur 1 is er duidelijk een verschil in de kritieke diktes van de drie verschillende matrijzen te zien.

De kritieke dikte van het polyester in de teflonmatrijs is bijna de helft van de kritieke dikte in de ingevette aluminium matrijs. Door een slechte warmtegeleiding is de lokale temperatuur van het polyester hoog waardoor ook de reactiesnelheid hoog is. Met een lage reactiesnelheid kan het materiaal regelmatig uitharden en neemt de sterkte van het materiaal genoeg toe om de interne spanningen te kunnen opvangen.

Uit het verschil tussen de twee soorten aluminium bakjes is af te leiden dat het hechten van het polyester aan de wand van de matrijs een negatief effect heeft op de kritieke dikte. Het krimpen van het polyester wordt gehinderd doordat het aan de wand vast zit. Hierdoor lopen de spanningen in het materiaal hoger op dan wanneer het los kan krimpen. De snelle groei van de spanning veroorzaakt dat het polyester barst voordat de spanningsrelaxatie kan optreden.

Door in twee lagen te gieten, is de kritieke dikte (van de bovenlaag) vergroot. Omdat de bovenlaag volledig hecht aan de uitgeharde laag krimpen allebei tijdens het uitharden. Dit betekent dat de interne spanningen die in de bovenlaag optreden verdeeld worden (al dan niet homogeen) over beide lagen.

Zoals te zien is in figuur 2 resulteert dit in een verhoogde kritieke dikte tot een maximum van 38 gram bij een onderlaag dikte van 10 tot 12 gram. Dit is ongeveer 140% van de originele kritieke dikte.

Een verdere verdikking van de onderlaag heeft een vermindering van de kritieke dikte tot gevolg.

De stijfheid van de onderlaag neemt met zijn dikte toe waardoor het steeds minder mee kan krimpen met de bovenlaag. Zoals eerder was aangetoond, heeft het hechten aan de wand van het polyester een vermindering van de kritieke dikte tot gevolg. Met de verhoogde stijfheid van de onderlaag gebeurt hier hetzelfde.

### Conclusies en Aanbevelingen

1. De kritieke dikte wordt vergroot door een matrijs met een goede warmtegeleiding te gebruiken.
2. Als het polyester aan de wand van de matrijs hecht wordt de kritieke laagdikte *niet* groter. De mogelijkheid tot vrij krimpen heeft juist een toename van de kritieke dikte als gevolg.
3. In twee lagen gieten kan de kritieke dikte verder verbeteren, maar de mate hiervan wordt beperkt door de stijfheid (en dus dikte) van de onderste laag.

Het zou interessant zijn om een vervolgonderzoek naar de optimale stijfheid van de onderste laag te doen. Hierbij moet dan ook gekeken worden naar het effect van de oplosmiddelen van de bovenste laag die in contact komen met de uitgeharde laag.

Verdere analyse en modellering in MARC kan een verbeterd beeld geven van de lokale spanningen en een idee hoe deze verminderd kunnen worden.