

TNO-rapport

## Validatie sterkte en verweking kunststof klemplaat

TNO Industrie

contactpersoon

Dr. [REDACTED]

Datum

19 februari 2001

Auteur

Dr. [REDACTED]

Projectnummer

[REDACTED]

Opdrachtgevers

[REDACTED]

Divisie

Materiaaltechnologie

Projectleider

[REDACTED]

Aantal pagina's

11

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2001 TNO

TNO Industrie is een op toepassingen gericht kennisbedrijf gespecialiseerd in productontwikkeling, productietechnologie, productieontwikkeling, materiaaltechnologie en productonderzoek.



Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's Gravenhage.

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	3
2	EXPERIMENTEEL GEDEELTE	3
3	RESULTATEN	4
4	DISCUSSIE	8
5	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	11

## 1 Inleiding

Voor [REDACTED] is een evaluatie aan een kunststof klemplaat uitgevoerd (TNO BU1.98/007848). Uit de evaluatie blijkt dat het voorgestelde ontwerp haalbaar is. [REDACTED] hebben drie typen klemplaten laten produceren van POM (polyoxymethyleen). Deze typen werden door TNO Industrie beproefd op sterkte. Eén van deze typen werd beproefd op verweking bij verhoogde temperatuur en duurzaamheid onder wisselende belasting.

De functionele eis voor de beproefde kunststof klemplaten is dat de lip een (wisselende) kracht ter grootte van maximaal 500 N moet kunnen weerstaan.

Dit rapport beschrijft de verrichte metingen in hoofdstuk 2, de resultaten in hoofdstuk 3 en gaat in op interpretatie van deze resultaten in hoofdstuk 4.

## 2 Experimenteel gedeelte

De verrichte metingen zijn:

- 1 bepaling van de sterkte van de klemplaat;
- 2 bepaling van de verweking;
- 3 bepaling van de weerstand tegen vermoeiing (duurzaamheid).

### *Bepaling van de sterkte*

Voor het meten van de sterkte werden hulpstukken gemaakt om de beproeving in de trekbank te kunnen uitvoeren. De klemplaat werd op een vlakke plaat geschroefd en aan de lip werd getrokken. Er werd uiteindelijk gekozen voor een verankering van het hulpstuk, waarmee aan de lip werd getrokken. De verankering bestond uit een nokje dat achter de voorkant (wandje) van de lip viel. De treksterkte is bepaald bij 23 °C en 50 % relatieve vochtigheid. De treksnelheid bedroeg 5 mm/min.

### *Bepaling van de verweking*

Voor het bepalen van de afname van de stijfheid van de klemplaat werden metingen verricht bij 23, 50, 75, 100, 125 en 150 °C bij twee reksnelheden, namelijk 1 en 20 mm/min. De metingen werden gestopt nadat een uitbuiging van de lip van ongeveer 10 mm was gerealiseerd.

### *Bepaling van de duurzaamheid*

De onzekerheid, waar het de levensduur van de klemplaat betreft, ligt in de mechanische belasting. De vraag is of de klemplaat voldoende weerstand biedt tegen de in de praktijk optredende wisselende belasting. De tijdens de beoogde levensduur optredende wisselende belastingen konden niet worden gerealiseerd met de beschikbare trekbank. De grote doorbuiging van de klemplaat maakte hoge frequentie en hiermee een groot aantal cycli praktisch onmogelijk. Daarom werd gekozen de vermoeiing met slechts 1000 wisselingen maar met een beduidend hogere maximale belasting op de lip van 1500 N uit te voeren. Deze metingen werden verricht bij 50 °C aan de klemplaat met de middelste liphoopte.

### 3 Resultaten

#### *Bepaling van de sterkte*

In de figuren 1-3 worden kracht-doorbuigingscurves getoond voor de drie onderzochte klemplaten verkregen onder een reksnelheid van 5 mm/min bij 23 °C.

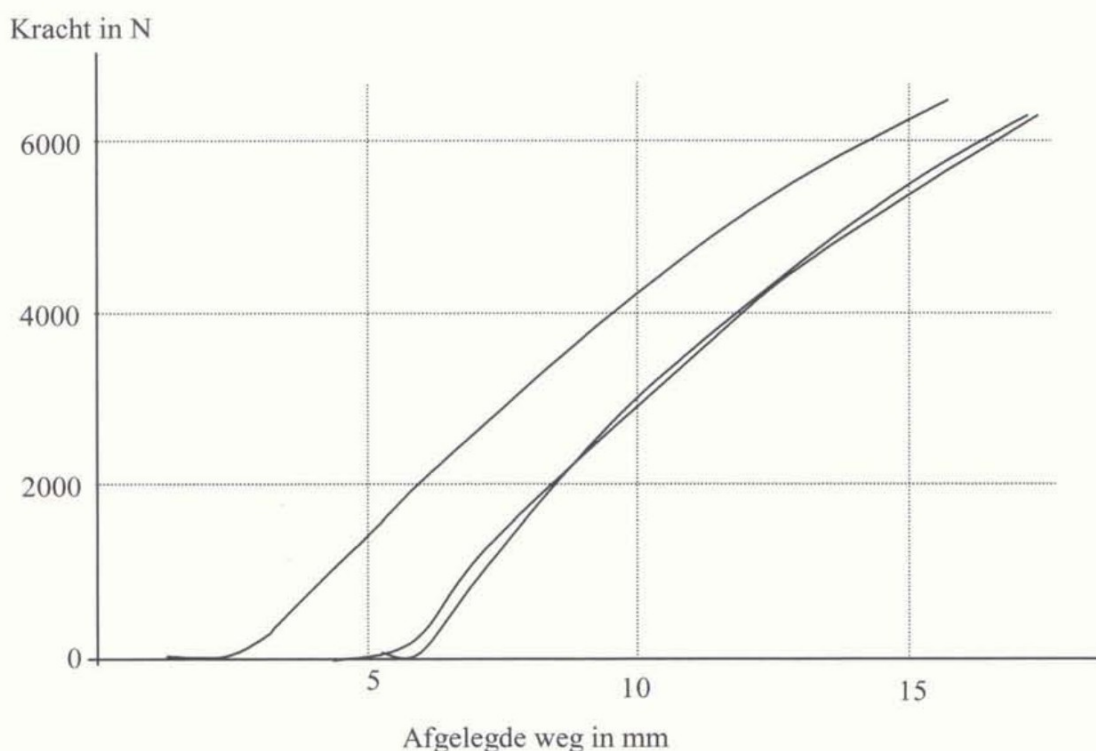


Fig. 1 Kracht versus doorbuiging voor 3 klemplaten met liphoogte van 30 mm.

Merk op dat de klemplaat met de laagste liphoogte naar verhouding een grotere doorbuiging laat zien en een lagere sterkte (kracht bij breuk).

De klemplaat bezweek bros (fragmenteerde) bij hoge lipkrachten. Enige foto's worden getoond in figuur 4.

De toelaatbare lipkracht is 500 N. De statische veiligheidsfactor, gedefinieerd als het quotiënt van de lipkracht bij het bezwijken en de toelaatbare lipkracht, is voor alle beproefde klemplaten groter dan 6. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de gemeten sterkte, de hiermee corresponderende kracht op de bout en de statische veiligheidsfactor.

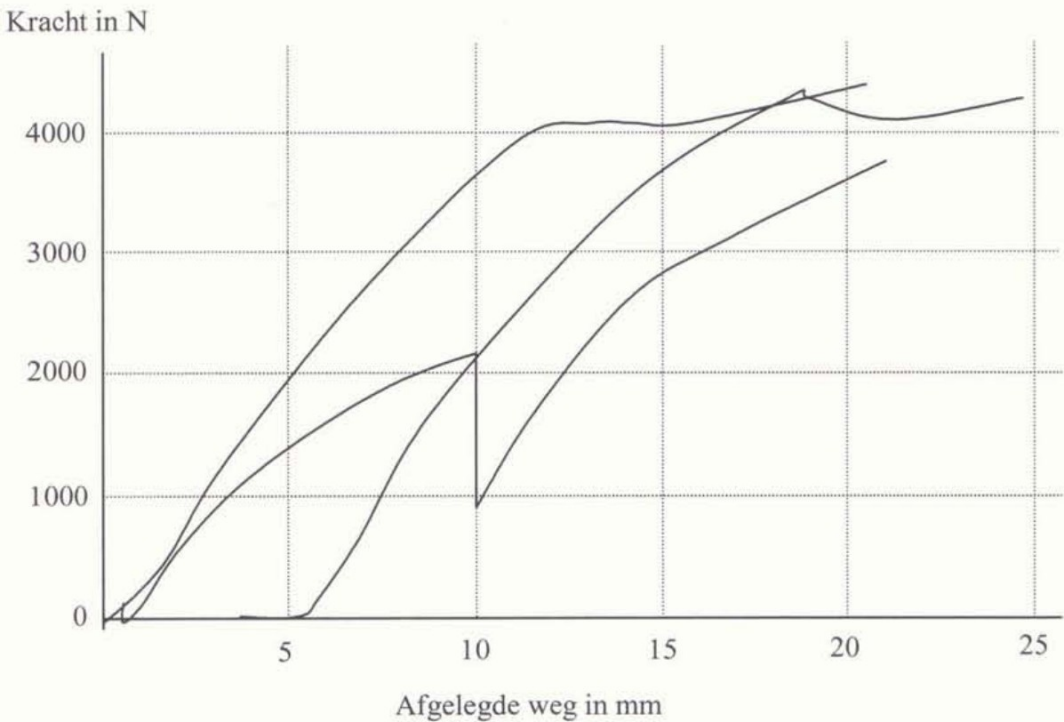


Fig. 2 Kracht versus doorbuiging voor 3 klemplaten met liphoogte van 20 mm. De trekproef aan het tweede monster vertoonde een sprong als gevolg van een verschuiving van het monster in de klem tijdens de meting.

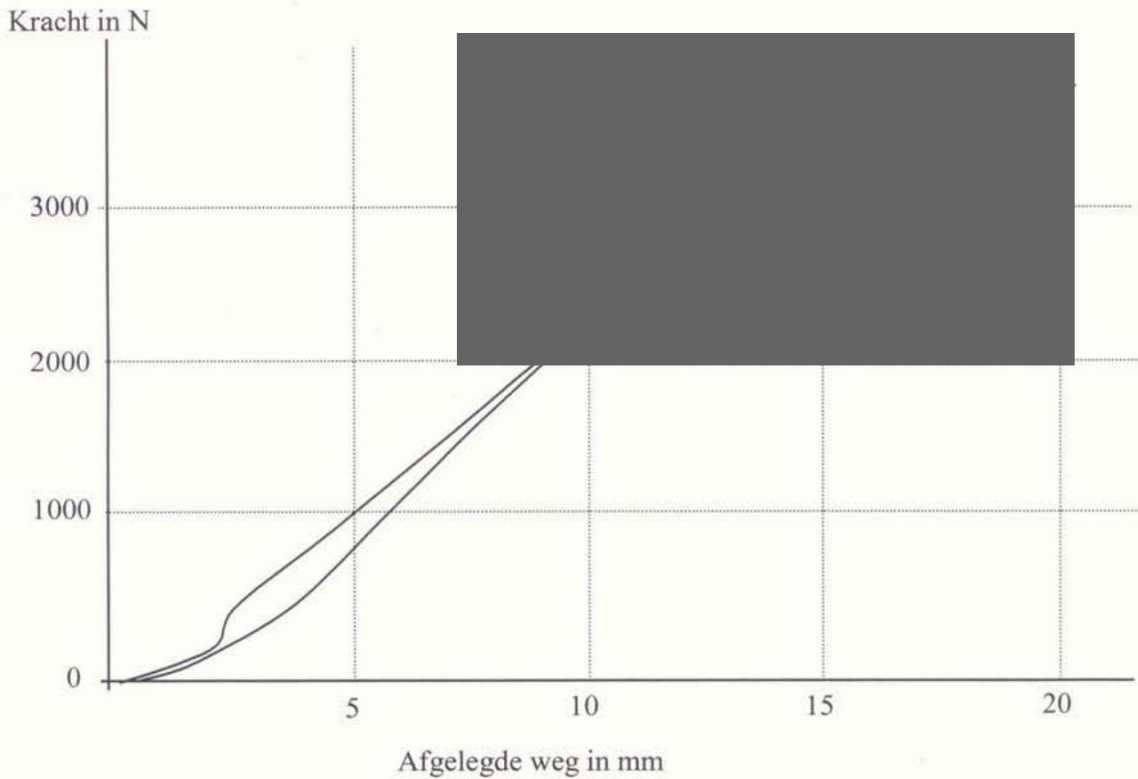


Fig. 3 Kracht versus doorbuiging voor 2 klemplaten met liphoogte van 10 mm.



Tabel 1                    Overzicht van gemeten lipkrachten bij bezwijken, hiermee corresponderende krachten op de bout en de statische veiligheidsfactor.

Klemplaat	Lipkracht bij bezwijken (N)	Kracht op bout bij bezwijken (N)	Statische veiligheidsfactor
Laag (10 mm)	3880; 3295	8150; 6920	7,8; 6,6
Middel (20 mm hoogte)	4400; 3750; 4330	9240; 7870; 9090	8,8; 7,5; 8,6
Hoog (30 mm hoogte)	6180; 6220; 6450	12980; 13060; 13540	12,3; 12,4; 12,9

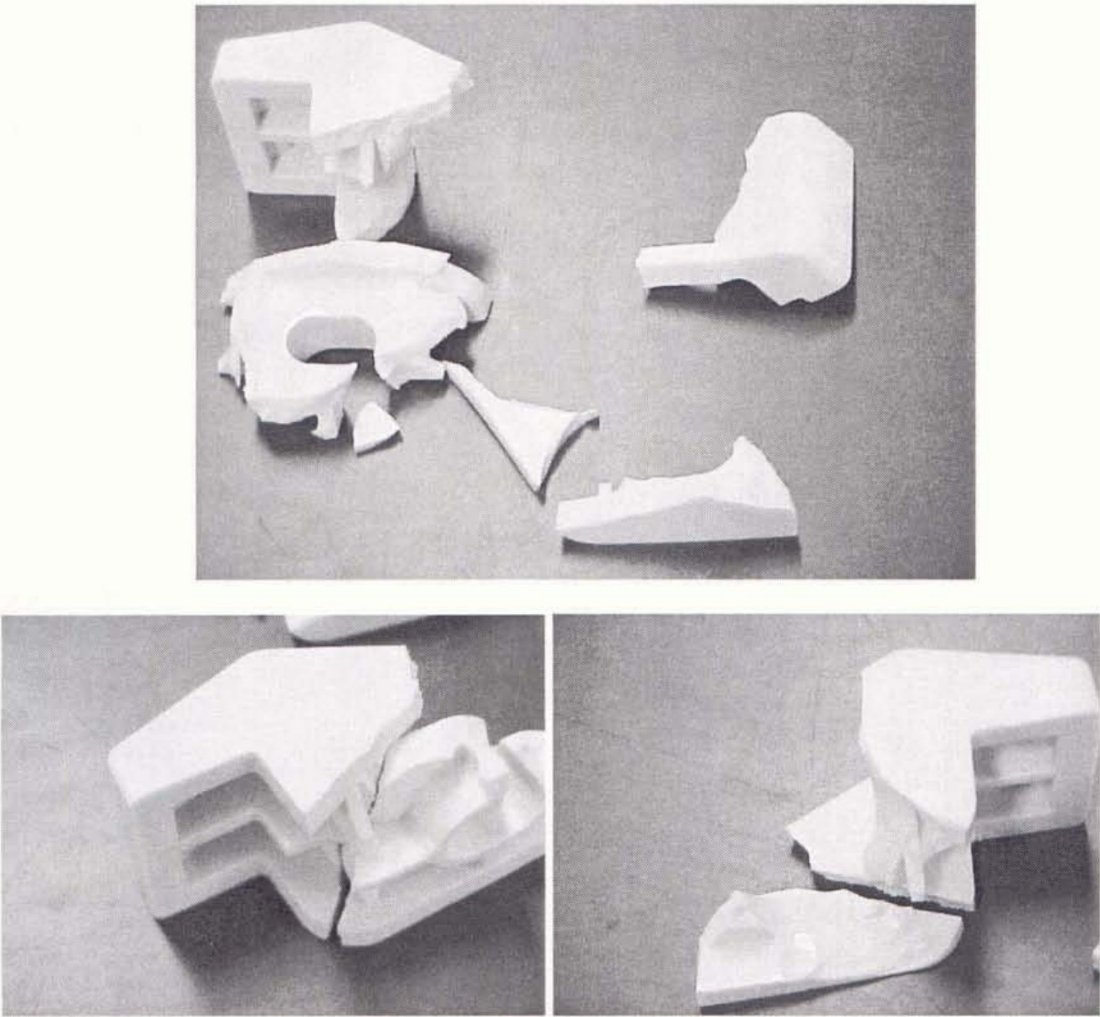


Fig. 4    In de trekproef bij hoge lipkrachten gebroken klemplaten.

*Bepaling van de verweking*

Ter bepaling van de afname van de stijfheid van de klemplaat, in verband met zijn functie als smeltanker, werden kracht-uitbuigingsmetingen uitgevoerd bij 1 mm/min en 20 mm/min aan de klemplaat met een hoogte van de lip van 20 mm. De meetresultaten worden samengevat in tabel 2.

De relatieve uitwijking ten opzichte van die gemeten bij 23 °C bij een lipkracht van 700 N (1 mm/min) of 750 N (20 mm/min) wordt vermeld. De afhankelijkheid van de treksnelheid is gering.

Tabel 2            Overzicht van de afname van de stijfheid (= toename van de vervorming) bij verhoogde temperatuur.

Temperatuur (°C)	Relatieve vervorming (%) 1 (mm/min)	Relatieve vervorming (%) (20 mm/min)
23	100	100
50	119	119
75	177	172
100	216	236
125	254	282
150	288	308

De vervorming bij 23 °C, 700 N en 1 mm/min is 3,8 mm.  
De vervorming bij 23 °C, 750 N en 20 mm/min is 3,3 mm.

In figuur 5 worden de in tabel 2 getoonde resultaten grafisch weergegeven.

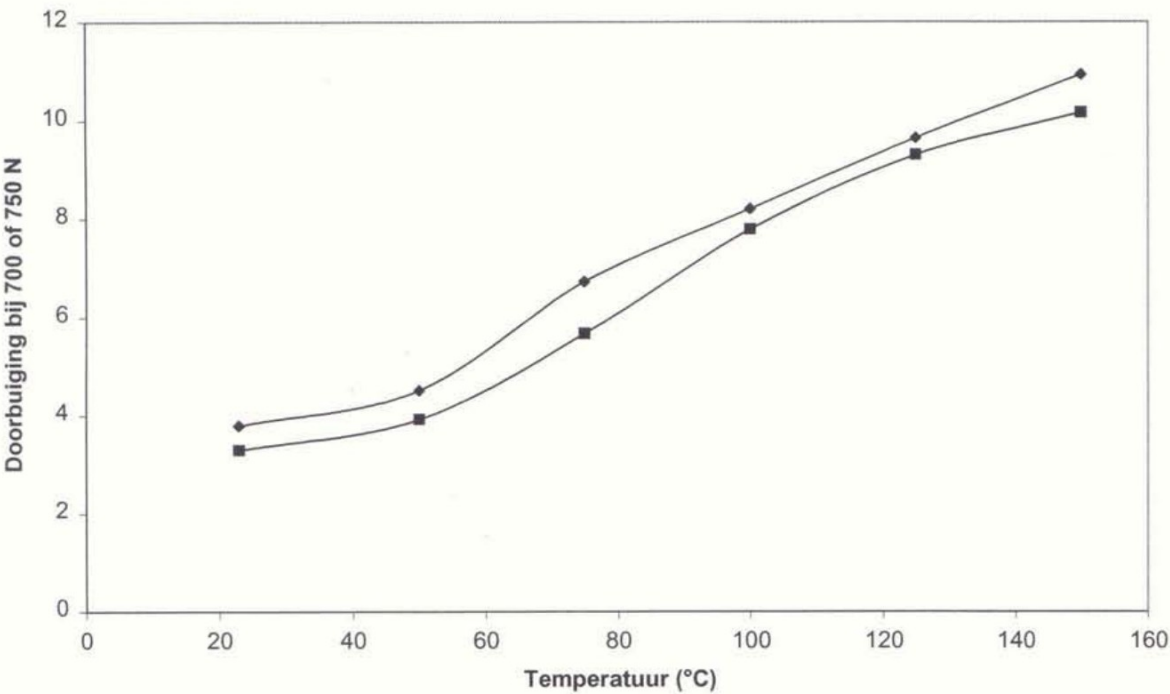


Fig. 5 Doorbuiging bij verschillende temperatuur onder een belasting van 700 N ( : 1 mm/min) of 750 N ( : 20 mm/min).

#### *Bepaling van de duurzaamheid*

Uitgaande van de verkregen meetresultaten werden vermoeiingsmetingen aan klemplaten met liphoogte van 20 mm uitgevoerd bij 50 °C, waarbij de maximale lipkracht 1500 N bedroeg. Dit correspondeert met een boutkracht van 3150 N.

De klemplaten vertoonden geen zichtbare beschadigingen na de vermoeiingsbelasting.

## 4 Discussie

De klemplaten hebben een sterkte die meer dan voldoende is om een boutkracht van 1000 N (en hiermee een lipkracht van 500 N) zonder beschadiging te weerstaan. Echter de klemplaten gaan wel significant doorbuigen als de kracht op de lip hoger wordt dan 1000 N. Dit wordt getoond in de in serie foto's van figuur 6.

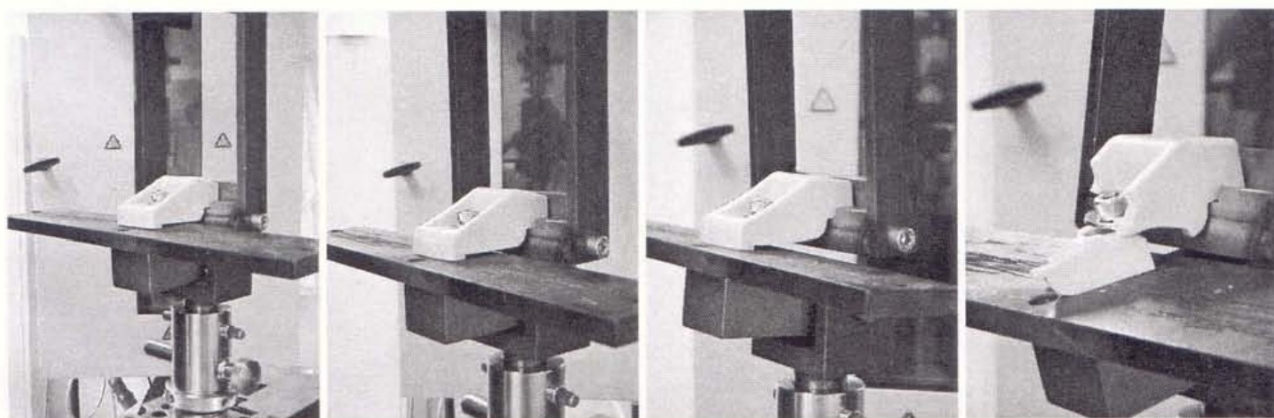


Fig. 6 Ingeklemde en belaste klemplaat; van links naar rechts: onbelast; ca. 1000 N op lip; ca. 2000 N; na breuk.

Door de buiging treedt ook een verkorting op. Als de lip niet wordt verankerd maar los oplit, zal deze bij een zekere kracht op de lip van de oplegging schieten. In figuur 7 is de verkorting van de klemplaat geschat als functie van de doorbuiging. Hierbij werd verondersteld dat de klemplaat als buigend balkje mag worden opgevat. Als de lengte, waarover de lip aanligt, gelijk wordt aan de verkorting, zal de klemplaat losschieten van de oplegging.



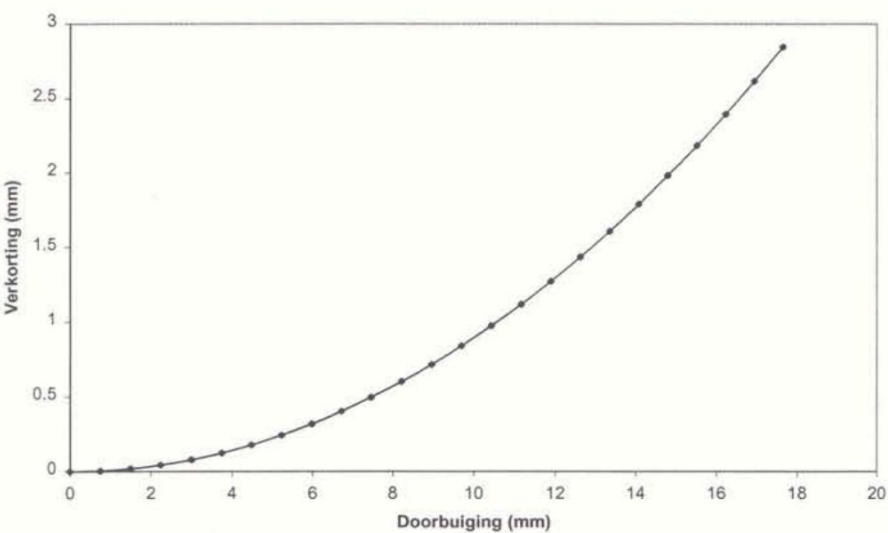


Fig. 7 Berekende verkorting van de klemplaat versus de doorbuiging van de klemplaat.

De temperatuurafhankelijkheid van een POM materiaal van Ticona wordt getoond in figuur 8.

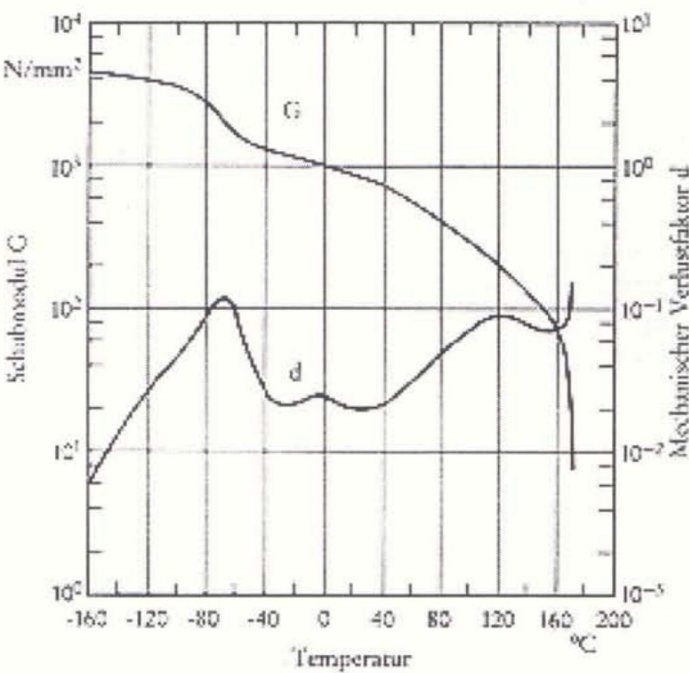


Fig. 8 Verloop van de afschuifmodulus met de temperatuur voor Hostaform C 9021 (brochure Ticona).

Uit figuur 8 volgt dat de afschuifmodulus ongeveer een factor 4 afneemt tussen 23 en 150 °C. Voor de doorbuiging bij 700 en 750 N, wat ook een maat voor de stijfheid en dus de modulus is, wordt een geringe toename gevonden tussen 23 en 150 °C (zie tabel 2). Dit kan aan het gebruikte type POM liggen. Echter alle POM materialen vertonen de sterke afname vanaf 160 °C.

#### *Bepaling van de duurzaamheid*

Uitgaande van de verkregen meetresultaten werden vermoeiingsmetingen aan klemplaten met liphoogte van 20 mm uitgevoerd bij 50 °C, waarbij de maximale lipkracht 1500 N bedroeg. Dit correspondeert met een boutkracht van 3150 N.

De klemplaten vertoonden geen zichtbare beschadigingen na de vermoeiingsbelasting.

## 4 Discussie

De klemplaten hebben een sterkte die meer dan voldoende is om een boutkracht van 1000 N (en hiermee een lipkracht van 500 N) zonder beschadiging te weerstaan. Echter de klemplaten gaan wel significant doorbuigen als de kracht op de lip hoger wordt dan 1000 N. Dit wordt getoond in de in serie foto's van figuur 6.

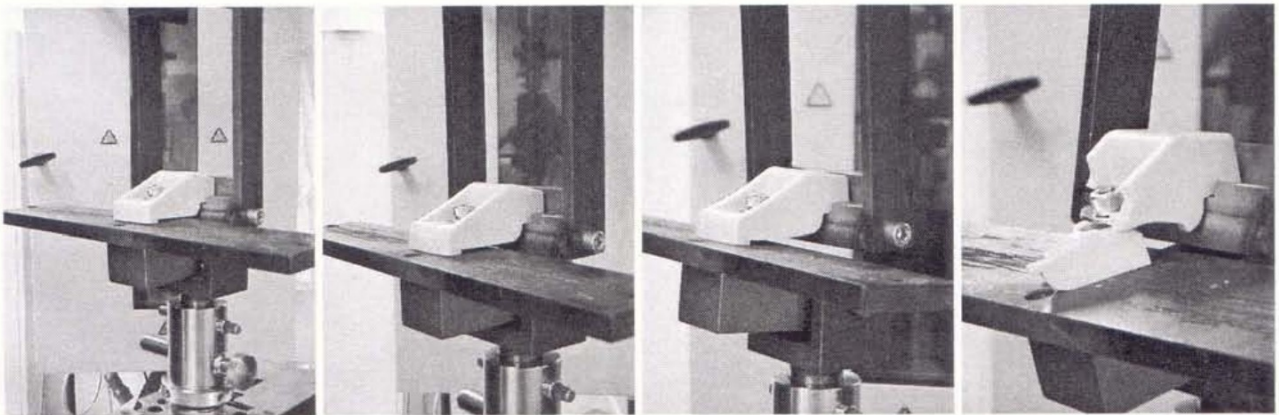


Fig. 6 Ingeklemde en belaste klemplaat; van links naar rechts: onbelast; ca. 1000 N op lip; ca. 2000 N; na breuk.

Door de buiging treedt ook een verkorting op. Als de lip niet wordt verankerd maar los opligt, zal deze bij een zekere kracht op de lip van de oplegging schieten. In figuur 7 is de verkorting van de klemplaat geschat als functie van de doorbuiging. Hierbij werd verondersteld dat de klemplaat als buigend balkje mag worden opgevat. Als de lengte, waarover de lip aanligt, gelijk wordt aan de verkorting, zal de klemplaat losschieten van de oplegging.

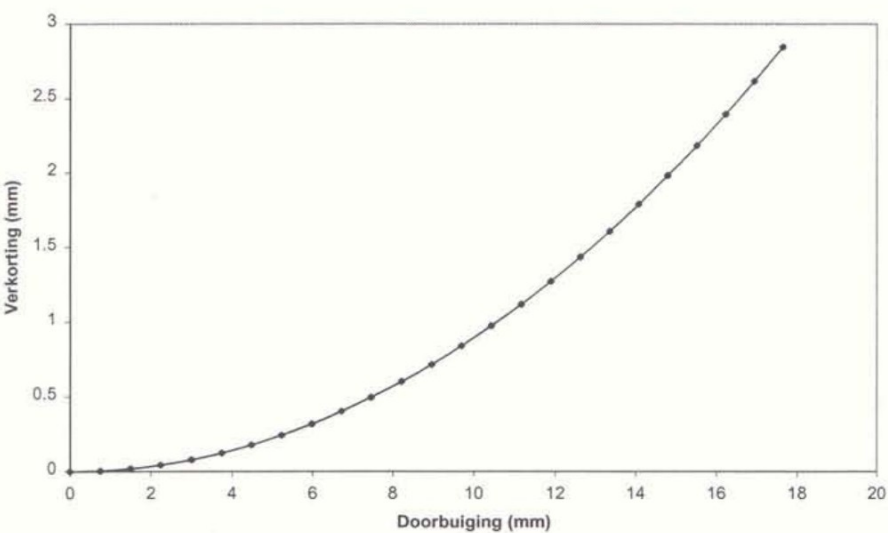


Fig. 7 Berekende verkorting van de klemplaat versus de doorbuiging van de klemplaat.

De temperatuurafhankelijkheid van een POM materiaal van Ticona wordt getoond in figuur 8.

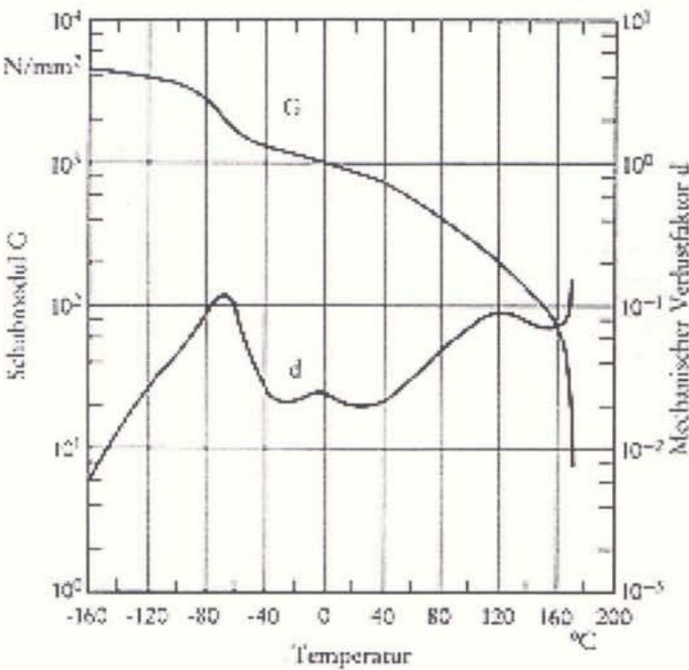


Fig. 8 Verloop van de afschuifmodulus met de temperatuur voor Hostaform C 9021 (brochure Ticona).

Uit figuur 8 volgt dat de afschuifmodulus ongeveer een factor 4 afneemt tussen 23 en 150 °C. Voor de doorbuiging bij 700 en 750 N, wat ook een maat voor de stijfheid en dus de modulus is, wordt een geringe toename gevonden tussen 23 en 150 °C (zie tabel 2). Dit kan aan het gebruikte type POM liggen. Echter alle POM materialen vertonen de sterke afname vanaf 160 °C.

De vermoeiingsbelasting in trek is verricht door de maximale kracht een factor 3 hoger te kiezen dan de in de toepassing beoogde maximale kracht. In figuur 9 wordt getoond dat de afname van de sterkte onder vermoeiing voor een POM materiaal minder dan 10 MPa is als het aantal wisselingen een factor 10 toeneemt. Door in plaats van  $10^6$  wisselingen voor 1000 te kiezen moet de maximale belasting tijdens de vermoeiing dus met 30 MPa toenemen. Dit betekent maximaal een factor 2. In de experimenten is een factor 3 toegepast. Er kan dus worden gesteld dat de onderzochte klemplaat nog enige marge over heeft waar het de duurzaamheid betreft.

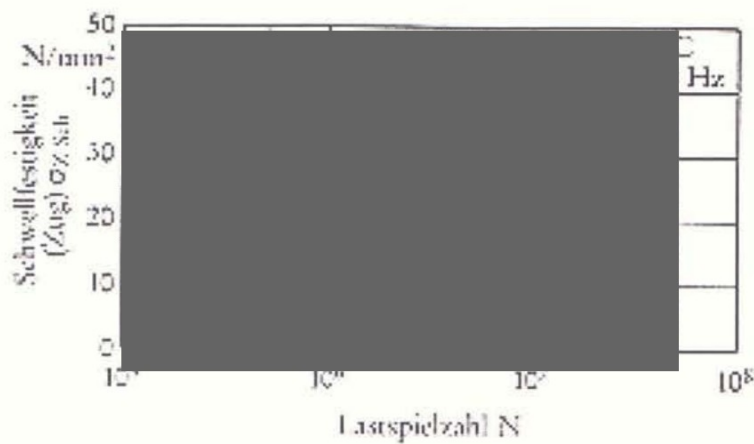


Fig. 9 Vermoeiingscurve (maximale belasting) versus aantal wisselingen Hostaform C9021 (Brochure Ticona).



## 5 Samenvatting en conclusies

Voor [REDACTED] werden metingen verricht aan kunststof klemplaten om de sterkte, de verweking bij verhoogde temperatuur en de duurzaamheid te bepalen.

De verrichte metingen betroffen de bepaling van de sterkte van de klemplaten met verschillende liphoogten en de bepaling van de verweking en van de weerstand tegen vermoeiing (duurzaamheid) aan de klemplaat met een liphoogte van 20 mm. De sterktemetingen werden uitgevoerd op een trekbank waarvoor hulpstukken werden gemaakt om de klemplaat op representatieve wijze te belasten. De klemplaten zijn op brosse wijze bezweken bij hoge lipkrachten. De treksterkte, bepaald bij 23 °C en 50 % relatieve vochtigheid, neemt toe met toenemende liphoogte van de klemplaat. De laagste gemeten waarde van de lipkracht bij breuk was 3300 N voor de klemplaat met een liphoogte van 10 mm, 3750 N voor de klemplaat met een liphoogte van 20 mm en 6180 N voor de klemplaat met een liphoogte van 30 mm. De hiermee corresponderende boutkrachten zijn respectievelijk 6920 N voor een liphoogte van 10 mm, 7870 N voor een liphoogte van 20 mm en 12980 N voor een liphoogte van 30 mm. Deze waarden zijn veel hoger dan de toelaatbare lipkracht van 500 N. De berekende statische veiligheidsfactoren zijn dus hoog en liggen voor de onderzochte klemplaten tussen 6,6 en 12,9.

De afname van de stijfheid van de klemplaat tussen 23 en 150 °C is een factor 3. Echter boven 150 °C zal deze snel verder afnemen tot meer dan een factor 100. Een belaste POM klemplaat zal door de afname van de stijfheid met toenemende temperatuur steeds verder doorbuigen en waarschijnlijk losschieten bij een temperatuur die onder de smelttemperatuur van de gebruikte kunststof ligt.

De in de praktijk door de klemplaat ondervonden vermoeiingsbelasting werd gesimuleerd door een vermoeiing met slechts 1000 wisselingen maar met een hoge maximale lipkracht van 1500 N. Deze belasting werd door de onderzochte klemplaat met liphoogte van 20 mm goed doorstaan. Er kan dus worden geconcludeerd dat de klemplaat de maximaal toelaatbare lipkracht van 500 N in vermoeiing goed kan weerstaan.