

Tijdsafhankelijke breukverschijnselen in polystyreen

Citation for published version (APA):

Cosijnse, J. (1994). *Tijdsafhankelijke breukverschijnselen in polystyreen*. (DCT rapporten; Vol. 1994.009). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1994

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Tijdsafhankelijke breukverschijnselen in Polystyreen

J. Cosijnse
WFW 94.009

stageverslag

Technische Universiteit Eindhoven

Faculteit Werktuigbouwkunde

Vakgroep Fundamentele Werktuigbouwkunde

Begeleider: Dr. Ir. L.E. Govaert

Eindhoven, januari 1994

Inhoudsopgave

H.1. Inleiding	3
H.2. Theoretische achtergrond	4
2.1 Hypothese voor craze initiatie	4
2.2 Verificatie voor polystyreen in homogene spanningstoestand	6
2.3 Hypothese voor tijdsafhankelijke craze initiatie	10
H.3. Experimenteel	12
3.1 Materialen	12
3.2 Technieken	13
3.2.1 Uniaxiale trekproeven	13
3.2.2 Kruipproeven	13
H.4 Resultaten & Discussie	14
4.1 Reksnelheids afhankelijkheid	14
4.2 Tijdsafhankelijke breuk	15
4.3 Discussie	16
H.5 Conclusie & Aanbevelingen	17
Referentie	18
Bijlage A: meetdata reksnelheidsafhankelijke trekproeven	19
B: meetdata tijdsafhankelijke trekproeven	20

H.1 Inleiding

In het verleden werd algemeen aangenomen dat vloeï bij polymeren net als bij vaste materialen (bv. metaal) kon worden voorspeld door de theorie van Von Mises of Tresca. Deze theorieën voorspellen dat er vloeï optreedt als aan een bepaald spannings- of energie criterium wordt voldaan. Echter de laatste jaren hebben onderzoekers als Duckett ea [3] het deformatie gedrag bij macroscopisch taaie polymeren onderzocht, zij vonden dat het mogelijk is om het deformatie gedrag, als vloeï en insnoerings verschijnselen van deze amorfe glasachtige polymeren, beschreven kan worden met een niet lineair Maxwell model.

Recent is binnen de vakgroep polymeertechnologie van de faculteit werktuigbouwkunde aan de TU in Eindhoven een onderzoek gestart, naar het deformatie gedrag van glasachtige polymeren. Het onderzoek houdt in, te kijken of de theorie voor macroscopische taaie materialen ook gebruikt kan worden voor het beschrijven en voorspellen van craze initiatie in macroscopisch brosse materialen.

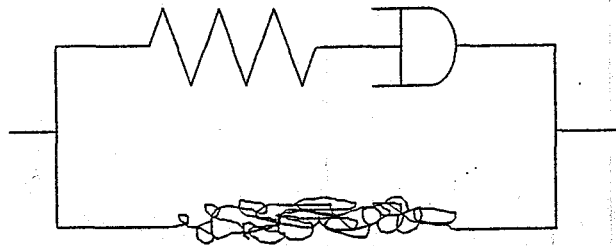
De eerste resultaten van dit onderzoek [1,2] lijken er op te duiden, dat het mogelijk is om met deze theorie ook breuk bij brosse polymeren te beschrijven, als gevolg van spannings opbouw bij constante reksnelheid.

Het doel van dit onderzoek is om duidelijkheid te krijgen, omtrent het gebruik van het genoemde plastische model voor het voorspellen van brosse breuk. Hiervoor is gebruik gemaakt van een tweetal type experimenten. Ten eerste spannings opbouw bij constante reksnelheid, gebruikt voor de materiaal karakterisering en verificatie van eerder gevonden resultaten [2]. Ten tweede voor het eigenlijke onderzoek, het doen van kruipproeven waarbij met name tijdsafhankelijke craze initiatie werd bestudeerd en te kijken of dit ook met het gevonden model kan worden voorspeld.

H.2 Theorie achter de modellering

2.1 Hypothese voor craze initiatie

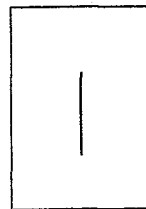
Bij dit onderzoek wordt getracht om met het niet lineaire Maxwell model, wat is weergegeven in onderstaande figuur, de te verwachten proef resultaten te beschrijven. De gedachtengang die hierbij gevolgd is, is om met hetzelfde model zowel, taaie als brosse polymeren te beschrijven.



In bovenstaande figuur, wordt de bij vloeï optredende vloeï instabiliteit gemodelleerd via de niet lineaire demper. De grootte van de bij de instabiliteit optredende rek, wordt bepaald door de Langevin veer. Deze Langevin veer geeft weer de entropie versterking die optreedt als gevolg van de rek. Afhankelijk van hoe snel, entropie versterking optreedt, is de rek bij de vloeï instabiliteit dus meer of minder groot. De maximale rek die op kan treden voordat deze versterking plaats vindt, is afhankelijk van het type polymeer. Polymeren met een dicht netwerk als polycarbonaat hebben een lage λ_{max} , terwijl polystyreen een hoge λ_{max} heeft (λ_{max} is de maximale verstreikbaarheid op moleculaire schaal).



λ_{max} klein



λ_{max} groot

Gevolgen van een hoge of lage waarde voor λ_{\max} zijn: bij het optreden van vloeï bij materialen met een lage λ_{\max} treedt versteviging op, voordat de bij deformatie tot ontwikkeling komende laterale spanningen een craze kunnen initiëren, vervolgens gaat het materiaal op een andere plaats vloeïen waarbij een zelfde proces zich herhaalt, uiteindelijk breekt het materiaal macroscopisch taai, materialen met een hoge λ_{\max} als polystyreen gedragen zich als volgt, ter plekke van de vloeï instabiliteit treedt een grote rek op wat resulteert in grote spanningen, deze laterale spanningen zijn vervolgens de oorzaak voor het initiëren van een craze, ten gevolge van deze craze bezwijkt het materiaal (een microscopisch taai materiaal leidt dus tot een macroscopisch bros materiaal). Als het hierboven beschreven deformatie mechanisme voor polymeren klopt, is vloeï dus het deformatie mechanisme wat tot breuk leidt voor zowel brosse als taai polymeren.

2.2 Verificatie van polystyreen in homogene spanningstoestand

Voor verificatie van polystyreen worden verschillende type proeven gedaan, dit zijn proeven met een constante reksnelheid. Voor het vergelijken van de verschillende proeven is het nodig een algemene uitdrukking te vinden waarmee de proeven met elkaar worden vergeleken, Duckett [3] gebruikt hiervoor de volgende relatie's, die ook bij dit onderzoek zijn gebruikt.

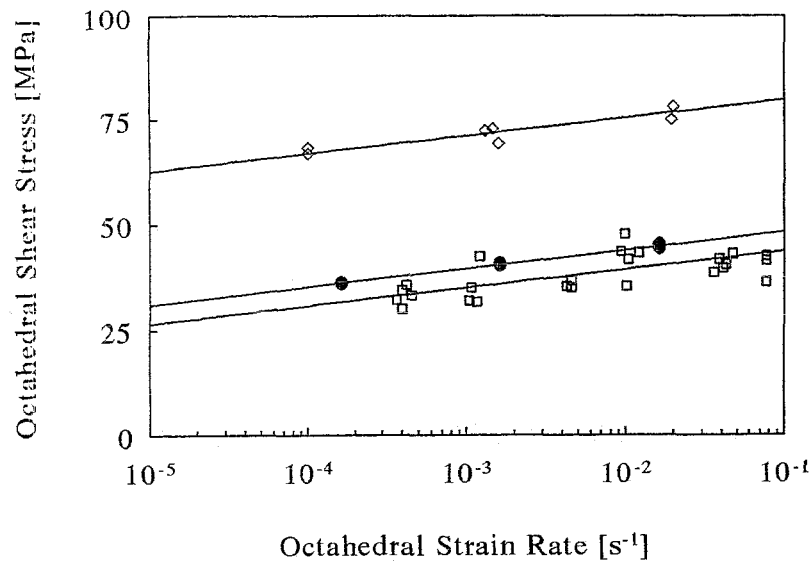
$$\dot{\gamma}_{oct} = \frac{2}{3} \left\{ (\dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2)^2 + (\dot{\epsilon}_2 - \dot{\epsilon}_3)^2 + (\dot{\epsilon}_3 - \dot{\epsilon}_1)^2 \right\}^{1/2} \quad (2.1)$$

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3} \left\{ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right\}^{1/2} \quad (2.2)$$

Na vereenvoudigen blijft over voor een uniaxiale trekproef:

$$\tau_{oct} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_1 \quad \dot{\gamma} = \sqrt{2} \dot{\epsilon}_1 \quad (2.3)$$

Het doen van de verschillende type proeven houdt in dat er zowel proeven worden gedaan waarbij breuk optreedt na vloeï als proeven waarbij brosse breuk optreedt. Voor het verkrijgen van meetdata waarbij breuk optreedt na vloeï, zijn planaire compressie proeven en uniaxiale trekproeven onder gesuperponeerde hydrostatische druk uitgevoerd. De hydrostatische druk dient ervoor om de laterale spanningen te onderdrukken, waardoor geen craze kan worden geïnitieerd, zodoende kan polystyreen ook macroscopisch vloeïen. Proeven met een brosse breuk zijn de uniaxiale en biaxiale trekproef.

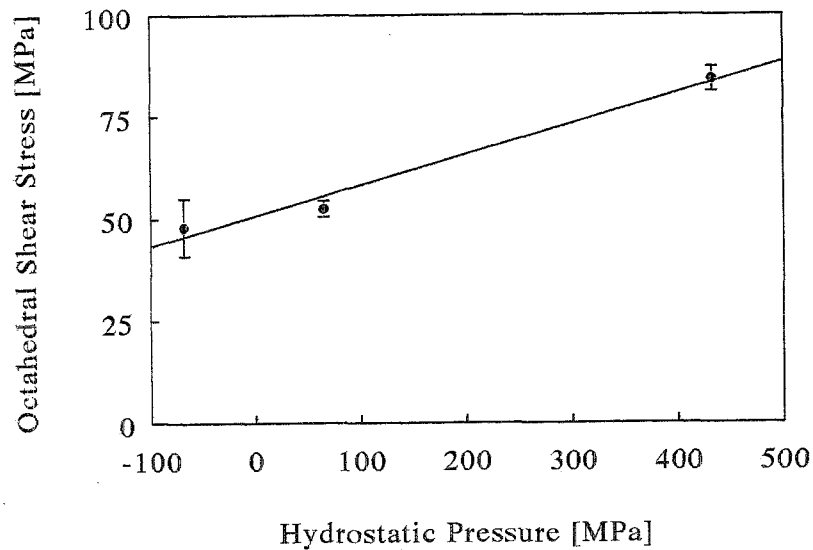


figuur 1 spanning-reksnelheidsrelaties voor polystyreen, • biaxiale trek,
 □ uniaxiale trek, ◇ planaire compressie

Recent zijn er ook uniaxiale trekproeven gedaan onder een hydrostatische druk van 500 MPa. Wanneer die resultaten worden gecombineerd met de resultaten uit figuur 1, wordt figuur 2 gevonden. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende relatie om de hydrostatische spanning P uit te drukken in τ_{oct} .

$$P = \alpha \tau_{oct} + P_0 \quad (2.4)$$

De factor α is afhankelijk van het type proef en beschrijft hoe τ_{oct} afhangt van de hydrostatische druk P . Voor een uniaxiale trekproef is deze, $\alpha = -0.7071$.



figuur 2 spanning-hydrostatische druk relaties voor, uniaxiale trekproeven onder hydr. druk, uniaxiale trekproeven, planaire compressie

Vervolgens kan met het behulp van Duckett, een algemeen model voor het materiaal worden opgesteld, Duckett deed dit voor polycarbonaat en kwam tot de conclusie dat vloeien en crazing met dit model zijn te beschrijven. Bij dit en vorig onderzoek aan polystyreen, wordt hetzelfde model gebruikt.

$$\tau_{\text{oct}} = \tau_{0\text{oct}} + \mu \alpha \tau_{\text{oct}} + c \log \dot{\gamma} + P_0 \quad \Rightarrow \quad \tau_{\text{oct}} = \frac{\tau_{0\text{oct}} + c \log \dot{\gamma} + P_0}{(1 - \mu \alpha)} \quad (2.5)$$

Betekenis van de parameters: $\tau_{0\text{oct}}$ de waarde van τ_{oct} bij $\dot{\gamma}$ is 1, c is de richtingscoëfficiënt in de grafiek van τ_{oct} tegen $\dot{\gamma}$, μ geeft de drukafhankelijkheid weer afgelezen uit de grafiek van τ_{oct} tegen de hydrostatische druk, α beschrijft hoe τ_{oct} afhangt van de hydrostatische druk P en is afhankelijk van het type proef.

De waarden van de parameters voor dit onderzoek zijn:

$\tau_{0\text{oct}}$	=	47.49
c	=	3.898
μ	=	0.0784
α	=	-0.7071 (uniaxiaal)

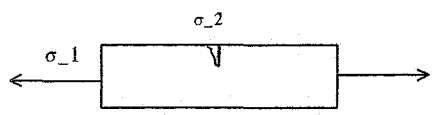
Uit de proeven die zijn gedaan voor de verificatie van polystyreen blijkt dat het mogelijk is om met dit model (formule 2.5) zowel breuk als gevolg van insnoering (vloei) en breuk als gevolg van craze vorming te beschrijven bij uniaxiale trekproeven, dit is te zien in figuur 1, daar zijn zowel proeven, met breuk als gevolg van een vloei proces als brosse breuk weergegeven. Door de meetdata van deze proeven is een fit lijn getrokken met als uitgangspunt het model volgens formule 2.5 met variabele τ_{0oct} .

Wanneer de reksnelheids afhankelijke proeven gedaan bij dit onderzoek zich ook laten beschrijven door het model. Betekent dit, dat er sprake is van een zelfde soort deformatie mechanisme wat tot breuk leidt. Verschillen kunnen het gevolg zijn van spanningsconcentraties, waardoor de spanning lokaal een factor K (de spanningconcentratie factor) hoger kan zijn dan de gemeten spanning, de globale spanning. Dit zal niet mogen uitmaken, of het gevonden model geschikt is voor de modellering van het vloei proces.

2.3 Hypothese voor tijdsafhankelijke craze initiatie

Het gevonden model voor het beschrijven van polystyreen bij proeven met opgelegde reksnelheid, willen we nu gebruiken voor het beschrijven van tijdsafhankelijke craze initiatie. Bij het belasten van het trekstaafje bij deze kruipproef, treedt na verloop van tijd een spanningsconcentratie op, dit houdt in dat de spanning lokaal een factor K hoger wordt. De K factor is afhankelijk van de geometrie van de scheurtip, aangezien deze geometrie onbekend is, is de grootte van deze spanningsconcentratie onbekend.

Schematisch kan dit als volgt worden weergegeven:



$$\sigma_1 \Rightarrow \dot{\epsilon}_1 \quad \text{a.g.v. spanningsconcentratie} \quad \sigma_2 = K \sigma_1 \Rightarrow \dot{\epsilon}_2 = R \dot{\epsilon}_1 \quad (2.6)$$

De factor R geeft de reksnelheids afhankelijkheid van de spanning weer, voor polystyreen geldt, dat een kleine stap in de spanning een groot reksnelheids verschil geeft.

De craze initiatie die plaatsvindt, omdat de laterale spanningen hoog genoeg zijn, voor het initiëren van een cavitatie, vindt plaats bij een bijbehorende constante craze rek. Aangezien er nog geen versterking heeft plaatsgevonden, is de reksnelheid tot breuk constant.

Gedurende de kruipproef gelden dan de volgende drie veronderstellingen. Ten eerste de uniaxiale spanningsconcentratie waarbij craze vorming optreedt is constant. Ten tweede vindt craze vorming plaats bij een constante kritische rek. Als derde de reksnelheid tot breuk is gedurende de proef constant.

Met deze veronderstellingen is het nu mogelijk om het reksnelheids afhankelijke gedrag te transformeren naar een tijdsafhankelijke beschrijving. Immers als gevolg van deze veronderstellingen geldt, dat het produkt van -tijd tot breuk * de reksnelheid- een constante is.

$$t_{br} = \frac{\epsilon_{cr}}{\dot{\epsilon}(K, \sigma)} \quad (2.7)$$

Betekenis van de parameters, t_{br} is de tijd tot craze vorming, ϵ_{cr} kritische breukrek in de craze, $\dot{\epsilon}(K, \sigma)$ reksnelheid tot breuk.

Door formule 2.7 logaritmisch te maken, krijgen we volgende vergelijking voor de tijd tot breuk:

$$\log t_{br} = \log \epsilon_{cr} - \log \dot{\epsilon}(K, \sigma) \quad (2.8)$$

Met gebruikmaking van de Power-Law, krijgen we de volgende vergelijkingen, voor de relatie tussen spanning en reksnelheid, bij uniaxiale trekproeven.

$$\sigma = c \dot{\epsilon}^m \quad \Rightarrow \quad \log \dot{\epsilon} = c_1 + c_2 \log \sigma \quad (2.9)$$

Wanneer de data van de kruipproeven en de uniaxiale trekproeven worden gecombineerd in één figuur, zal bij het zelfde breukmechanisme, de helling van de lijn door de meetresultaten hetzelfde zijn, namelijk:

$$\log \dot{\epsilon}(K, \sigma) = c_1 + c_2 \log \sigma + c_3 \log K \quad \Rightarrow \quad \log t_{br} = c - c_2 \log \sigma \quad (2.10)$$

H.3 Experimenteel

3.1 Materialen

De experimenten die zijn gedaan voor de verificatie van het model, zijn gedaan met trekstaafjes. Er is gewerkt met gespuitsgiete en geperste staafjes, beide gemaakt van polystyreen, Styron 638 [2]. De staafjes waren verschillend van dikte, verder was door het spuitgieten oriëntatie opgetreden. Deze verschillen zijn bewust gedaan, om te kijken of dit van invloed is op de beschrijving met het model.

De geperste trekstaafjes werden bewerkt voor de proeven zijn uitgevoerd, dit hield in het schuren van de gefreesde randen om het oppervlak gladder en minder gevoelig voor craze initiatie te maken. Het natschuren gebeurde met een korrel van 400, 800, 1200, 2400 en 4000.

De afmetingen van de trekstaafjes:

		Lo (mm)	A(mm ²)	d(mm)
geperst	(+/-)	60	15	1.5
spuitgiet	(+/-)	170	35	3.55

3.2 Technieken

3.2.1 Uniaxiale trekproeven

De uniaxiale trekproeven zijn uitgevoerd op de Zwick REL en Frank 81565 trekbank, met een kracht opnemer van 10 kN. Bij deze trekproeven met opgelegde constante reksnelheid meten we de vloeispanning. Als maat voor de reksnelheid is genomen de waarde die is ingesteld op de trekbank, omdat het aanbrengen van een extensiometer met scherpe klemmen de sterkte te veel beïnvloed. Reden voor het gebruik van een extensiometer is dat de reksnelheid in het midden van het trekstaafje afwijkt van de opgelegde reksnelheid. Het werken met een extensiometer heeft echter meer nadelen als voordelen, daarom niet toegepast.

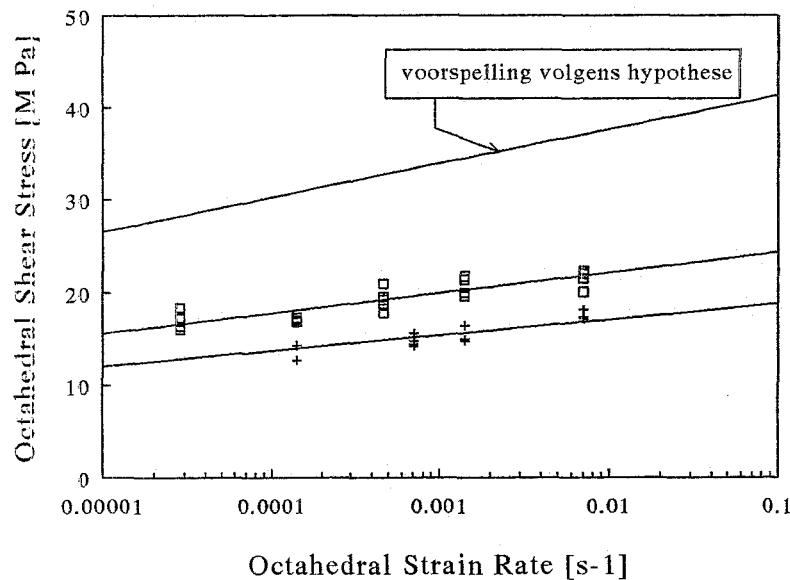
3.2.2 Kruipproeven

De kruipproeven zijn alle uitgevoerd op de Zwick REL trekbank, omdat dit als voordeel heeft dat deze trekbank analoog is gestuurd, dit houdt in dat er geen schokjes optreden tijdens het bijregelen van de kruipproef. Het experiment wordt uitgevoerd door "instaan een spanning aan te leggen", na het aanbrengen van de spanning wordt deze constant gehouden en gekeken na wat voor tijd de 1e craze ontstaat.

H.4 Resultaten & Discussie

4.1 Reksnelheids afhankelijkheid

In onderstaande figuur 4.1 zijn de resultaten te zien van de trekproeven met constante reksnelheid, bij behorende data zijn opgenomen in bijlage A.



figuur 4.1 data van trekproeven, spuitgiets \square en geperst $+$

Het verschil tussen de lijnen is te verklaren doordat breuk optreedt als gevolg van lokale spanningsconcentratie. Wanneer we deze spanningsconcentratie opnemen in het model door de vergelijking gevonden met het model te delen door een factor K ($K = 2.2$ voor geperste en 1.7 voor gesputgiets trekstaafjes) fit deze lijn met de meetdata. De reksnelheids afhankelijkheid van de trekproeven bij dit onderzoek, komt dus overéén met de reksnelheids afhankelijkheid die is gevonden bij de verificatie van polystyreen voor materiaal karakterisering.

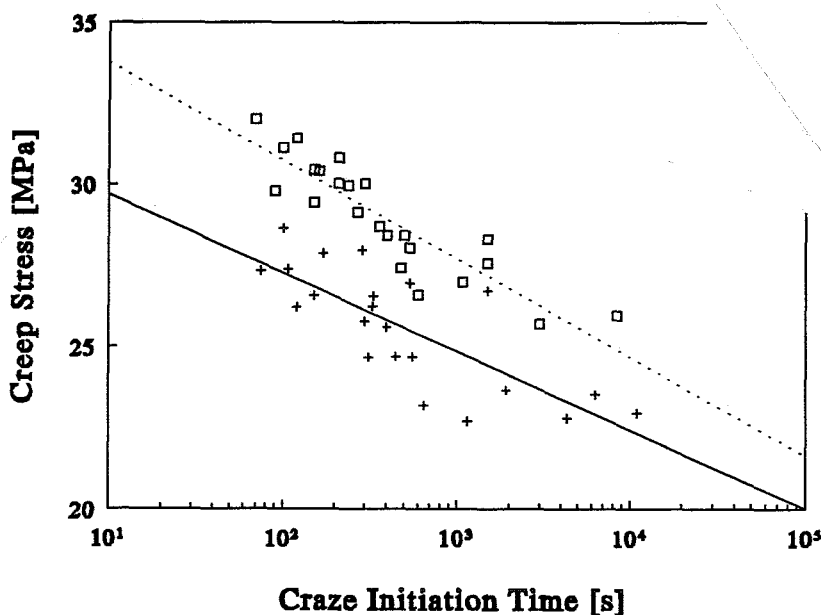
4.2 Tijdsafhankelijke breuk

Afhankelijk van het type trekstaafje, geperst of gespuitsgiet is het tijdsafhankelijk gedrag bepaald op een eigen manier.

Bij de geperste staafjes is de breuktijd gemeten, deze was nagenoeg gelijk aan de tijd die nodig is voor het ontstaan van de 1e craze.

Bij de gespuitsgiete staafjes is de tijd genomen die nodig was voor de vorming van de 1e volume craze dit is niet de tijd tot breuk, omdat nu pas breuk optreedt bij meerdere crazes. Met behulp van een data acquisitie programma ADC is het verloop van de rek in de tijd vastgelegd het blijkt dat bij het ontstaan van de 1e craze de rek duidelijk toeneemt, het gevolg van de locale rek bij de craze. Bij de proeven waarbij de aangelegde kruipspanning laag was, is de tijdsafschatting tot crazevorming gebeurt door te kijken op welk tijdstip een toename van de rek wordt waargenomen, als gevolg van de craze vorming.

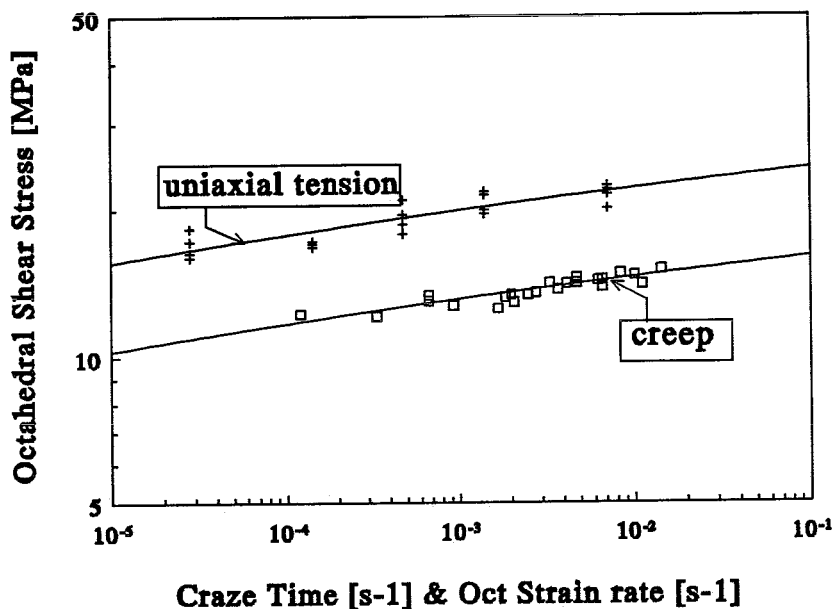
In onderstaande figuur 4.2 is te zien hoe de gemeten locale craze tijd afhangt van de opgelegde spanning.



figuur 4.2 data van kruipproeven, spuitgiet □ en geperst +

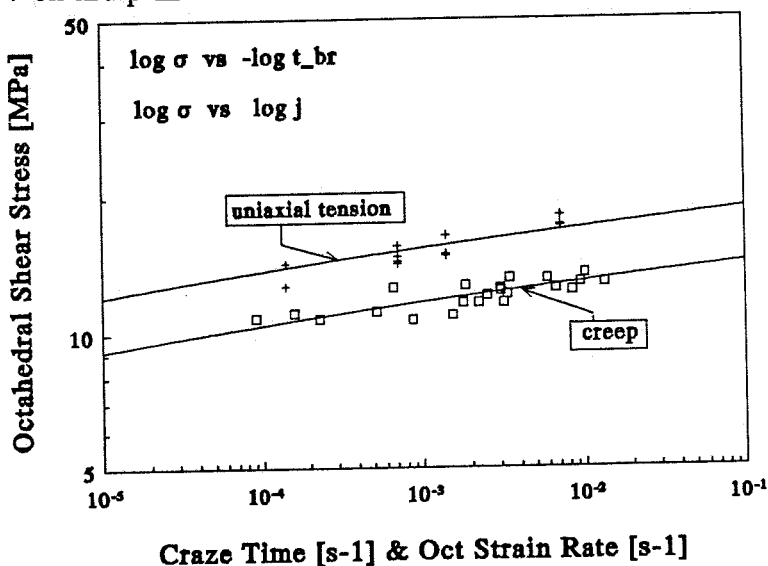
4.3 Discussie

Voor het vergelijken van -crazing als gevolg van kruip- met -crazing ontstaan door een trekproef met constante reksnelheid- worden de resultaten in één grafiek gezet. Wanneer de resultaten voldoen aan de hypothese in hoofdstuk 2.3, zal de hellingshoek van de twee verschillende type proeven overeenkomen.



figuur 4.3 combinatie van trek- en kruipproeven voor spuitgiet staafjes

trek + en kruip □



figuur 4.4 combinatie van trek- en kruipproeven voor geperste staafjes

trek + en kruip □

H.5 Conclusie & Aanbevelingen

De experimenten hebben laten zien, dat het mogelijk is om craze initiatie bij uniaxiale trekproeven voor polystyreen te beschrijven met een vloeistofmodel. Voorts lijkt het aannemelijk, dat het ook mogelijk is om met behulp van het gevonden model kruipgedrag bij brosse polymeren te beschrijven. In dit geval lijkt het er op dat tijdsafhankelijke breuk effecten dus ook door vloeï worden gedomineerd.

Bij verder onderzoek dient gestreefd te worden naar een belastingsituatie waarbij de spanningsconcentratie weergegeven door de factor K rondt de scheurtip bekend is. Is deze bekend, dan is het mogelijk de tijd tot breuk bij kruipproeven vanuit de modellering te voorspellen.

Referentie

- [1] E.T.J. Klompen, Viscoelastische modellering van insnoering, stageverslag WFW 92.118
- [2] D.B.Buzeman, De beschrijving van brosse polymeren m.b.v. een vloeistofmodel, stageverslag WFW 93.113
- [3] R. Alan Duckett, The Yielding and Crazing Behaviour of Polycarbonate in Torsion Under Superposed Hydrostatic Pressure, The British Polym. J., vol. 10 march 1978

Bijlage A: meetdata reksnelheids afhankelijke trekproeven

gespuitgiet		geperst	
reksnelheid	σ_{oct}	reksnelheid	σ_{oct}
0.28e-4	18.34	0.14e-3	12.70
0.28e-4	17.24	0.14e-3	14.26
0.28e-4	16.33	0.71e-3	14.24
0.28e-4	15.98	0.71e-3	14.39
0.14e-3	17.02	0.71e-3	14.76
0.14e-3	17.261	0.71e-3	15.58
0.14e-3	16.80	0.14e-2	14.80
0.47e-3	17.83	0.14e-2	16.44
0.47e-3	19.24	0.14e-2	16.45
0.47e-3	19.55	0.14e-2	14.94
0.47e-3	20.95	0.71e-2	18.16
0.47e-3	18.68	0.71e-2	17.20
0.14e-2	19.61	0.71e-2	17.32
0.14e-2	21.39		
0.14e-2	21.73		
0.14e-2	19.94		
0.71e-2	21.47		
0.71e-2	20.07		
0.71e-2	22.02		
0.71e-2	22.33		

Bijlage B: meetdata tijdsafhankelijke trekproeven

gespuitgiet

σ_{oct} kruip crazetijd σ_{oct} kruip crazetijd

14.81	120	12.54	600
14.52	210	12.12	3000
12.97	1500	14.67	100
13.53	360	15.08	70
13.35	1500	13.40	400
14.15	300	13.40	500
14.15	210	12.24	8400
14.12	240	12.73	1080
13.74	270		
14.36	150		
14.33	160		
14.05	90		
13.88	150		
12.93	480		
13.22	540		

(vervolg) Bijlage B: meetdata tijdsafhankelijke trekproeven

geperst

σ_{oct} kruip crazetijd σ_{oct} kruip crazetijd

11.64	450	12.52	333
11.63	315	12.92	107
11.64	560	12.70	540
10.70	1150	10.83	11040
10.94	650	10.75	4340
12.53	150	12.88	75
12.36	120	13.14	170
12.16	300	13.18	290
12.60	1500	13.51	100
12.07	400	11.09	6300
12.37	330	11.16	1920