

Onderzoek Vermoeiing van TRIP staal

B. de Bruin (1218174), A.A. van der Burg (1187252),

J. P. Cnossen (1185683), W.S. Geertsma (1228277)

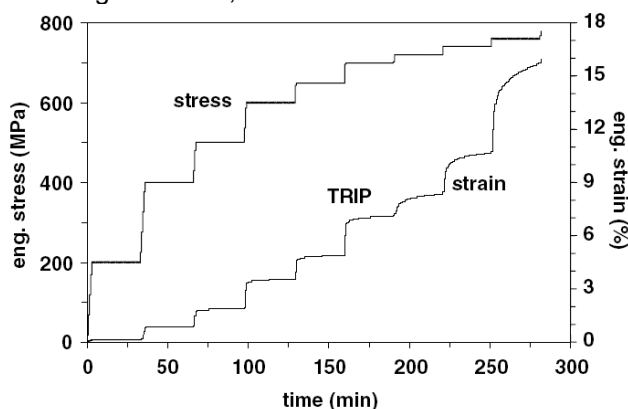
Samenvatting

Onderzocht is of het tijdelijk constant houden van de belasting tijdens een vermoeiingsproef invloed heeft op de scheurgroeisnelheid van TRIP-staal. Bij TRIP-staal kan dit van invloed zijn omdat tijdens een mechanische belasting rest-austeniet plaatselijk omvormd naar martensiet en zal zodoende een lagere scheurgroeisnelheid veroorzaken. Opwarming tijdens een vermoeiingbelasting kan de martensietvorming tegengaan. Door de scheurgroeisnelheden na opwarming en na afkoeling met elkaar te vergelijken kan een mogelijk effect aantoonbaar worden gemaakt. Het TRIP-effect is echter niet waar te nemen met de gebruikte meetmethode.

1. Inleiding

Dit onderzoek is gerelateerd aan de vermoeiingseigenschappen van Transformation Induced Plasticity (TRIP) staal. TRIP-staal bevat veel instabiel rest-austeniet dat onder mechanische belasting binnen het plastisch vervormd gebied, omvormt naar martensiet. Deze transformatie wordt het TRIP-effect genoemd.

Het TRIP-effect is al uitvoerig onderzocht door trekproeven uit te voeren. Uit deze trekproeven is gebleken dat er een tijdsinvloed is in de rek. Met een stapsgewijze opvoering van de trekspanning neemt de rek normaliter ook stapsgewijs toe. In Figuur 1 is te zien dat de rek in TRIP-staal niet stapsgewijs met de belasting toeneemt, maar met een kromme.

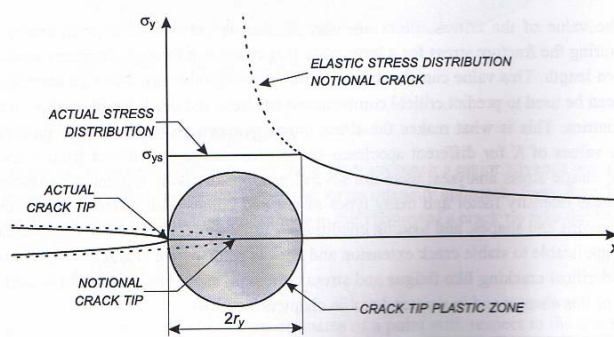


Figuur 1: Rekkromme van TRIP-staal tijdens een stapsgewijs uitgevoerde trekproef².

Een mogelijke verklaring voor deze verandering in de rek is: tijdens de belastingsverhoging treedt een temperatuurstijging van 3 graden² op in het plastisch gebied (zie Figuur 2). Deze warmte vloeit weg bij het constant houden van de belasting. Hierdoor neemt de reksnelheid ook af over de tijd, dit komt door de martensietvorming die bij het afkoelen intreedt. Bij het afkoelen verandert de samenstelling binnen het plastisch gebied.

Tijdens een cyclische belasting zal er door plastische vervorming in het materiaal, binnen de

plastische zone, naar benadering de temperatuur met 4 graden toenemen. Deze temperatuursverandering heeft naar verwachting invloed op het TRIP-effect.



Figuur 2: De plastische zone volgens het model van Irwin³.

Voor dit onderzoek luidt dan ook de onderzoeksvraag: *Is de warmteontwikkeling door een cyclisch trekbelasting van invloed op het TRIP-effect.*

Aan de hand van de onderzoeksvraag zal verder worden gekeken naar de invloed van temperatuur op de scheurgroeisnelheid. De hypothese op de onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd: *het tijdelijk constant houden van de belasting tijdens een vermoeiingsproef leidt tot een andere scheurgroeisnelheid van TRIP-staal binnen de afgekoelde cyclisch plastische zone.*

Het doel van het onderzoek is om de temperatuurstijging bij cyclisch mechanische belasting te relateren aan scheurgroeisnelheid, onder invloed van het TRIP-effect. De lagere scheurgroeisnelheid wordt gerelateerd aan de vorming van interne drukspanningen in het materiaal bij cyclische belasting. De interne drukspanningen worden veroorzaakt door de plaatselijke omzetting van rest-austeniet naar martensiet dat een grotere ruimtelijke microstructuur heeft.

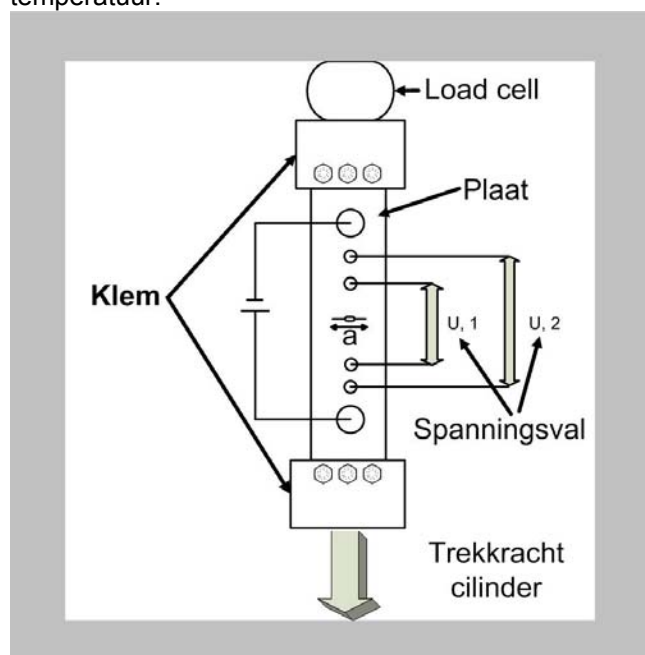
2. Methode

Om de hypothese te kunnen verifiëren of falsificeren worden de scheurgroeisnelheden binnen en buiten de afgekoelde cyclisch plastische zone gemeten. De afgekoelde cyclisch plastische zone is het deel van het

plastisch gebied waar tijdens de belasting het TRIP-effect en de opwarming optreedt. Er wordt afwisselend, tien minuten een cyclische belasting en tien minuten een constante belasting op het proefstuk gezet. In de tien minuten met cyclische belasting neemt de temperatuur toe waarna het bij constante belasting afkoelt naar kamertemperatuur. Bij het afkoelen van de zone verwachten we het verhardend effect, dat aangetoond kan worden door de scheurgroeisnelheid binnen de afgekoelde cyclisch plastische zone te meten. Door de cyclische belasting tien minuten aan te houden gaat de scheur helemaal door de afgekoelde cyclisch plastische zone heen en creëert een nieuwe zone, zonder invloeden van de afgekoelde zone.

Het proefstuk is een plaat TRIP 700 staal (C-MN-Al legering), voorbereid volgens de ASTM 647 standaard. Deze wordt ingeklemd en belast met een cyclische belasting. Deze belasting is met een frequentie van 25Hz en een constante ΔK (Het verschil in spanningsintensiteit met σ_{\max} en σ_{\min} , $\Delta K = \Delta\sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a}$) van $30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, zodat er voor elke belastingcyclus dezelfde belastingeigenschappen verondersteld mogen worden ongeacht de scheurgrootte. Voor de frequentie is de hoogst instelbare gekozen, zodat het te meten effect maximaal zichtbaar is. Er is een R-waarde van 0.1 (R is de amplituderatio van de belasting, $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$)⁴ gebruikt, dit is een veel gebruikte waarde voor vermoeiingsonderzoek.

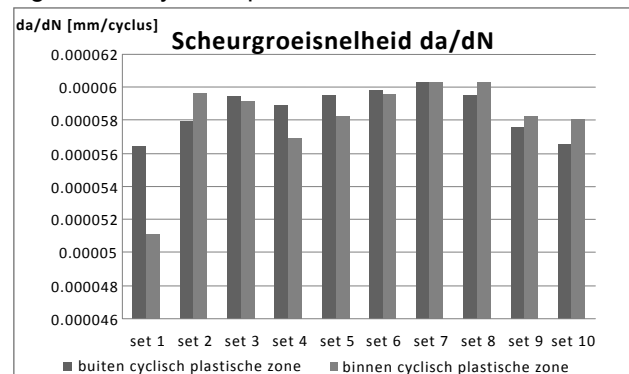
Voor de scheurlengte metingen is gebruik gemaakt van een MTS 810 Vermoeiingsbank (zie Figuur 3). Deze vermoeiingsbank kan de scheurlengte meten met behulp van een elektrische pulsgenerator (Howden), dit is standaard apparatuur voor scheurlengte metingen. Door een stroom door het proefstuk te sturen kan via twee geeikte spanningsvalmetingen de lengte van de scheur bepaald worden zonder extreme invloeden als temperatuur.



Figuur 3: Schematische weergave testopstelling

3. Resultaten

Er zijn 10 bruikbare sets van scheursnelheids metingen binnen en buiten de afgekoelde cyclische plastische zone (zie Figuur 4) gemeten. De snelheden zijn bepaald door de kleinste kwadraten methode toe te passen op de meetresultaten. Volgens de hypothese moet de scheurgroeisnelheid binnen de afgekoelde cyclisch plastische zone anders zijn dan buiten de afgekoelde cyclisch plastische zone.



Figuur 4: Scheurgroeisnelheden binnen en buiten de afgekoelde cyclisch plastische zone

De meetresultaten hebben een spreiding van de scheurgroeisnelheid binnen de afgekoelde cyclisch plastische zone van $2,699\text{E-}6 \text{ mm/cyclus}$ en buiten de afgekoelde cyclisch plastische zone van $1,381\text{E-}6 \text{ mm/cyclus}$. Ten opzichte van het gemiddeld verschil tussen de twee scheurgroeisnelheden van $4,57\text{E-}7 \text{ mm/cyclus}$, is de spreiding erg groot.

4. Discussie en Conclusies

Aan de hand van de meetresultaten kan geconcludeerd worden dat de huidige meetmethode niet betrouwbaar genoeg is om een verschil in de scheurgroeisnelheid te meten, mocht er een verschil door martensietvorming aanwezig zijn. De hypothese is hiermee gefalsificeerd.

Om de benodigde nauwkeurigheid te kunnen bepalen is verder onderzoek nodig naar de effecten van:

- Verlaging van de werkelijke maximale spanning in de cyclisch plastische zone door structuurverandering. Martensiet heeft een ruimtelijk grotere structuur dan austeniet waardoor een drukspanning ontstaat in de cyclisch plastische zone.
- De verandering van de materiaaleigenschappen in de plastische zone, door de transformatie. Martensiet is brosser dan austeniet en heeft een hogere scheurgroeisnelheid.

Referenties

- 1) L. Zhao et al. / Scripta Materialia 55 (2006) 287–290
- 2) Cheng X et al., Fatigue crack growth in TRIP steel under positive R-ratios, Eng Fract Mech (2007), doi:10.1016/j.engfracmech.2007.01.019
- 3) M. Janssen et al., Fracture Mechanics (2006), VSSD
- 4) W. D. Callister, Materials science and engineering (2003), Wiley