



Achtergrondinformatie

Materiaalonderzoek met röntgendiffractie

De metalen waarvan vliegtuigen, gebouwen, auto's en treinen gemaakt zijn, staan voortdurend onder een wisselende spanning. Hierbij gaat het niet om een elektrische spanning, maar om een *mechanische spanning* – een *trekspanning* of een *drukspanning* als het metaal onder invloed van krachten uit elkaar wordt getrokken of in elkaar wordt gedrukt. Door deze mechanische spanning kan het metaal uiteindelijk scheuren, met ernstige ongelukken als gevolg. Er wordt dan ook onderzoek gedaan naar manieren om de levensduur van metalen in constructies te verlengen. En bij dat onderzoek spelen neutronen- en röntgenstraling een belangrijke rol.

Mechanische spanning

Vanaf het moment dat ze gemaakt worden is er in metalen onderdelen een mechanische spanning aanwezig. De spanning die in het metaal zit opgesloten, noemen we de *interne spanning*. Als het onderdeel in gebruik is, komt het bovendien van buitenaf onder spanning te staan. Dat kan een trekspanning zijn, zoals bij een liftkabel. Of een drukspanning, zoals bij de pijler van een brug. Door zo'n belasting van buitenaf verandert ook de interne spanning in het materiaal. Die verandering hangt af van de soort slijtage, de ouderdom en de grootte van de krachten. Uiteindelijk zorgt de combinatie van slijtage en interne spanning ervoor dat het materiaal bezwijkt.

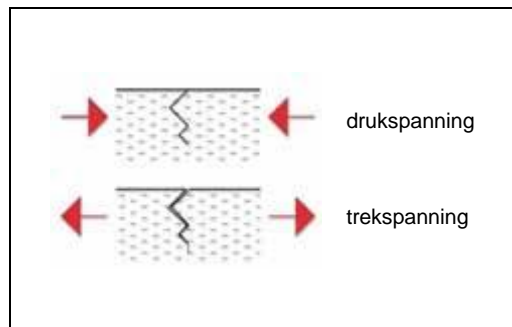
Een trekspanning heeft meestal een negatief effect, maar een drukspanning kan een positief effect hebben op de levensduur van een materiaal. Bij een kleine scheur in het oppervlak van een materiaal zal een trekspanning de scheur groter maken. Maar een drukspanning duwt de scheur dicht en voorkomt dat deze groeit (zie figuur 3). Ingenieurs hebben productiemethoden ontworpen waardoor een interne drukspanning ontstaat op die plaatsen van een onderdeel waar zich kleine scheuren kunnen ontwikkelen. Daardoor is het onderdeel beter bestand tegen slijtage en neemt de levensduur toe. Helaas ontstaat daardoor op andere plaatsen in het onderdeel juist weer een schadelijke interne trekspanning. Voor een verdere verbetering van de productietechniek is het dus belangrijk om de interne druk- en trekspanningen in een metalen onderdeel goed in beeld te kunnen brengen.



Figuur 1 – De natuurlijke groei van een boom veroorzaakt een 'interne spanning' in het hout van de stam. Als het hout na het kappen begint te drogen, kan deze interne spanning groter worden dan de sterkte van het hout. Daardoor gaat het hout scheuren.



Figuur 2 – Vliegtuigonderdelen worden zo ontworpen dat interne spanningen in het metaal zorgen voor een grote betrouwbaarheid en een lange levensduur.



Figuur 3 – Het effect van druk- en trekspanning op de groei van een scheur aan het metaaloppervlak. Een drukspanning duwt de scheur dicht (boven), een trekspanning trekt de scheur verder open (onder).

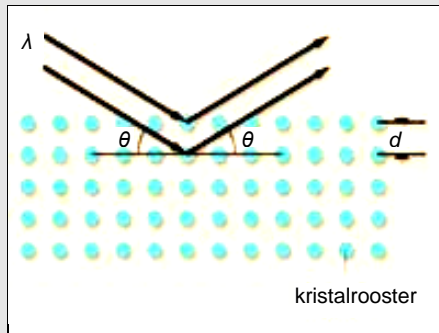
Onderzoek met neutronen- en röntgenstraling

De interne spanningen in een metaal zijn in beeld te brengen door bestraling met neutronen of röntgenstraling. Daarbij ontstaat een diffractiepatroon waaruit is op te maken waar het metaal onder trek- en drukspanning staat (zie het kader over Bragg-reflectie). Eén van de voordelen van deze methode is dat neutronen- en röntgenstraling diep in het materiaal kunnen doordringen. Het onderdeel is dus in zijn geheel te onderzoeken en hoeft niet in stukken gezaagd te worden. De keuze tussen neutronen- en röntgenstraling hangt af van het soort metaal, de afmetingen van het onderdeel en de gewenste resolutie van het beeld.

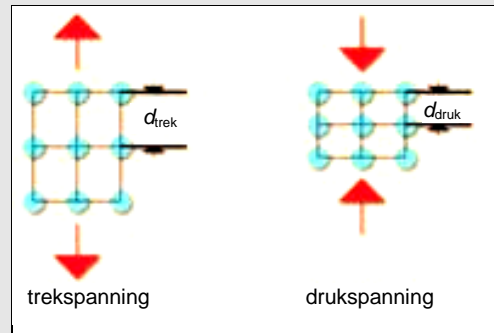
Bragg-reflectie

Neutronen- en röntgenstraling worden gebruikt om het kristalrooster van atomen in een metaal te onderzoeken op interne mechanische spanningen. Een op het kristalrooster

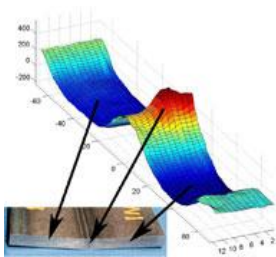
invallende bundel neutronen of röntgenstraling met een bekende golflengte λ wordt alleen teruggekaatst bij bepaalde waarden van de hoek θ tussen de invallende bundel en de kristalvlakken (zie figuur 4). Bij deze *Bragg-reflectie* hangt de invalshoek θ waarbij reflectie optreedt af van de afstand d tussen de kristalvlakken: $\lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$.



Figuur 4 – Bragg-reflectie.



Figuur 5 – Kristalrooster onder trekspanning (links) en onder drukspanning (rechts).



Figuur 6 – Interne spanning in een lasnaad tussen staalplaten, zichtbaar gemaakt met neutronenstraling. De zone van maximale trekspanning (rood) zit in het midden van de lasnaad.

Interne spanningen in het metaal veroorzaken variaties in de afstand d tussen de kristalvlakken (zie figuur 5): bij het optreden van een trekspanning is die afstand (d_{trek}) groter, en bij het optreden van een drukspanning is die afstand (d_{druk}) kleiner. Volgens de Bragg-reflectieformule zal de hoek θ waarbij reflectie optreedt in beide situaties een verschillende waarde hebben. Met een detector is te meten onder welke hoek reflectie optreedt. Daaruit is af te leiden of er sprake is van een interne trek- of drukspanning. En zo ja: hoe groot die interne spanning dan is.

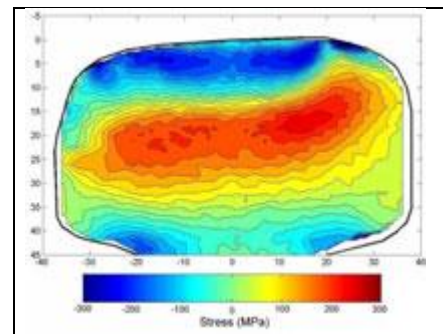
De voortdurend wisselende belasting en slijtage van treinrails kan bij breuk tot ernstige ongelukken leiden. Deze breuk is een gevolg van kleine scheuren in het railoppervlak en interne spanningen in het metaal. Figuur 8 geeft een voorbeeld van de spanningen in de kop van een afgesleten stuk treinrails, zichtbaar gemaakt met röntgendiffractie: de rode zones geven het optreden van trekspanning aan, de blauwe zones drukspanning. Op de plaatsen waar de zone met trekspanning in de buurt van het railoppervlak komt, is de kans op het doorgroeien van kleine scheuren in het oppervlak het grootst. Meer kennis over hoe de interne spanningen in het materiaal veranderen bij slijtage maakt het niet alleen mogelijk om betere treinrails te ontwerpen, maar levert ook aanwijzingen voor het onderhoud daarvan om de kans op breuk zo klein mogelijk te maken.



Figuur 9 – Materiaalonderzoek met neutronen- en röntgenstraling is ook van belang voor bijvoorbeeld het ontwerp en onderhoud van windturbines.



Figuur 7 – Een treinongeluk als gevolg van railbreuk.



Figuur 8 – Interne spanningen in de kop van een afgesleten stuk treinrails.

Bron

- *Science in School* 2007 (5) – Darren Hughes: *Taking the stress out of engineering.*

1 Röntgendiffractie

Bij een evenwijdige bundel röntgenstraling die op een kristalrooster invalt, treedt Bragg-reflectie op: er is alleen reflectie van de röntgenstraling bij bepaalde waarden van de hoek θ tussen de invallende bundel en de kristalvlakken.

- Verklaar dit verschijnsel. Aanwijzing: Gebruik daarbij het golfkarakter van röntgenstraling. Bragg-reflectie is namelijk een interferentieverschijnsel.
- Toon met behulp van die verklaring aan dat de Bragg-reflectieformule uit het kader

over Bragg-reflectie juist is.

2 Materiaalonderzoek

Met het verschijnsel Bragg-reflectie is de afstand d tussen de kristalvlakken van een metaal te bepalen.

- Leg uit hoe daarmee is vast te stellen of de interne spanning in een metaal een trek- of drukspanning is, en hoe groot die spanning dan is.

3 Neutronendiffractie

Het materiaalonderzoek is niet alleen uit te voeren met röntgenstraling, maar ook met neutronenstraling: ook bij een invallende bundel neutronen treedt Bragg-reflectie op. Dat is vreemd, want neutronen deeltjes en geen golven...

- Leg uit waarom Bragg-reflectie ook optreedt bij neutronenstraling. Aanwijzing: Zoek – als dat nodig is – informatie over het 'golfkarakter van materie'.

Elektronendiffractie

Bragg-reflectie treedt ook op bij neutronenstraling, omdat neutronen naast een deeltjeskarakter ook een golfkarakter hebben. Dat moet dan ook met andere deeltjes, zoals bijvoorbeeld elektronen, het geval zijn. In het *VWO Bovenbouwpracticum Natuurkunde* van de Universiteit Utrecht staat het experiment *Elektronendiffractie*, waarin dat golfkarakter van elektronen wordt gebruikt voor het bepalen van de afstand tussen de roostervlakken van een kristal.

Website: <http://www.fisme.science.uu.nl/bbp> > experimenten > elektronendiffractie