

University of Groningen

On the role of dislocations in fatigue crack initiation

Brinckmann, Steffen

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2005

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Brinckmann, S. (2005). *On the role of dislocations in fatigue crack initiation*. [Thesis fully internal (DIV), Groningen]. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

Vermoeing, of metaalmoeheid, is de angst van iedere vliegtuigpassagier. Een heel klein scheurtje kan ineens uitgroeien tot een grote scheur met mogelijk fatale gevolgen.

Er is experimenteel aangetoond dat dislocaties een fundamentele rol spelen in het ontstaan van vermoeiingsscheurtjes. Zelfs voordat plasticiteit zichtbaar optreedt worden dislocaties gegenereerd door een cyclische belasting, ze klusteren en vormen kanaalstructuren en later laddervormige structuren. Laddervormige structuren worden gevonden in zogenaamde 'persistent slip banden' die tot de meeste plasticiteit geleid hebben en tot de oppervlakteruwheid in de vorm van zogenaamde ex-, in- en protrusies.

In dit proefschrift worden deze fenomenen onderzocht door middel van een twee dimensionaal discreet dislocatie model van een korrel bij een spanningsvrij oppervlak. Er wordt verondersteld dat het aangrenzende materiaal elastisch blijft, terwijl de korrel plastisch kan vervormen door randdislocaties die over meervoudige slipsystemen glijden. Hun beweging wordt gestuurd door de Peach-Koehler kracht, waarbij rekening wordt gehouden met het singuliere lange-afstands effect van de andere dislocaties, de spiegelbeeld spanningen van het vrije oppervlak en de voorgeschreven belasting. Dislocatie paren kunnen gegenereerd worden door Frank-Read bronnen. Annihilatie van twee dislocaties van tegenovergesteld teken wordt in rekening gebracht als ook het verdwijnen van dislocaties aan het vrije oppervlak. Dit laatste leidt tot het ruw worden van het oppervlak. Tenslotte kunnen dislocaties verstrengeld raken aan obstakels, waarbij men kan denken aan dislocaties op andere glijsystemen en kleine precipitaten. Het model voorspelt hoge drukspanningen bij de korrelgrenzen, langs de primaire glijvlakken en aan het vrije oppervlak. Voor de gekozen materiaalparameters en spanningsniveau's, neemt de dislocatie dichtheid in eerste instantie zeer snel toe en na ongeveer 100 cycli neemt de mate van groei af. De dislocatie dichtheid is hoog langs de primaire glijvlakken en langs de korrelgrenzen. Het gebied dicht bij het vrije oppervlak is bijna dislocatie vrij door de spiegelbeeld kracht die de dislocaties uit het kristal trekt. Met dit model is het echter niet mogelijk om het effect van klustering van dislocaties te laten zien.

In een volgend model zijn drie-dimensionale effecten als uitbreiding meegenomen. Hier kunnen dislocaties knooppunten vormen die werken als obstakels of als nieuwe dislocatie bronnen. Deze knooppunten worden gemaakt en ontbonden afhankelijk van drie-dimensionale mechanismen. Hierbij wordt rekening gehouden met de lijnspanning van dislocaties. Met deze uitbreidingen kunnen dislocaties stabiele klusters en dislocatie-vrije ruimtes vormen. Tenslotte is de dislocatie dichtheid hoger, omdat de knooppunten de beweging van dislocaties verhinderen. Deze dislocatieverdeling vertoont gelijkenis met de celstructuur die in experimenten met meervoudige slip zijn gevonden. Echter, in deze simulaties zijn nog geen kanaalstructuren gevonden.

Het experimentele gegeven dat dislocaties groeperen in structuren tijdens cyclische belasting is in het verleden door diverse auteurs gebruikt om de door de dislocatiestructuur gegenereerde spanningen te schatten bij een vrij oppervlak omdat deze kunnen leiden tot het ontstaan van een vermoeiingsscheur. Dit zijn sterk gedealiseerde structuren. In dit proefschrift worden dislocatie statica en dynamica gebruikt om een meer realistische berekening van de spanningen nabij het oppervlak te maken wanneer dislocatiestructuren ontwikkelen tijdens cyclische belasting.

Een dislocatie die uit een korrel glijd aan het vrije oppervlak laat daar een stap achter. Een veelvoud van deze gebeurtenissen leidt tot intrusies of extrusies, die blijven groeien tijdens verdere cyclische belasting. Deze oppervlakte stappen veroorzaken spanningssingulariteiten, die kunnen bijdragen tot het ontstaan van een vermoeiingsscheur. Het spanningsveld ten gevolge van de oppervlaktestappen wordt analytisch benaderd door de wigoplossing uit de elasticiteitstheorie. Deze benadering is vergeleken met benaderingen van andere auteurs en met numerieke berekeningen. Er is gevonden dat de oplossing dicht bij de oppervlakte sprong zit, maar de spanning in de bulk wordt overschat.

Spannings- ϵ -krommes zijn gebruikt om de invloed van kristalvorm en -grootte te onderzoeken. Dislocatiedynamica voorspelt een grootte effect: kleine korrels zijn harder. Verder blijkt tijdens spannings-gestuurde condities de maximale rek in de tijd af te nemen tengevolge van de versteving. Door dezelfde reden neemt de maximale spanning toe in rek-gestuurde simulaties.

Cohesieve oppervlakken, die zowel mode I als mode II opening beschrijven, zijn toegevoegd om scheurinitiatie te beschrijven. De spanning die leidt tot het initiëren van de scheur bevat bijdragen van zowel de dislocatieverdeling als van de oppervlakte ruwheid. Initieel gedraagt de cohesieve opening aan het vrije oppervlak zich elastisch en ontwikkelt de dislocatiestructuur als zonder de cohesieve oppervlakken. Later neemt de dislocatiedichtheid significant toe, wat leidt tot een toename in de cohesieve opening tot en met het ontstaan van een scheur. Volgens het model heeft de scheur de voorkeur te ontstaan loodrecht op het vrije oppervlak. Verder is gevonden dat de bijdrage aan het ontstaan van vermoeiingsscheuren door de dislocatieverdeling sterker is dan de bijdrage van de oppervlakteruwheid.

De simulatie voorspelt, zonder enige veronderstelling aangaande de dislocatiestructuur, dat dislocaties het ontstaan van vermoeiingsscheuren kunnen veroorzaken met behulp van de oppervlakteruwheid die ze zelf produceren. Vermoeiingsscheuren ontstaan zonder uitwendige invloed zoals oxidatie of thermisch geactiveerde processen, zoals het klimmen van dislocaties, om clusters van lege ruimtes te vormen. Bovendien is het ontstaan van vermoeiing geassocieerd met mode I scheuren en niet met mode II scheuren zoals algemeen verondersteld wordt.

Het grootste obstakel om de simulaties voort te zetten, met gebruik van meer fysische materiaalparameters en het gebruik van drie-dimensionale uitbreidingen samen met het cohesieve oppervlakte model, is de vereiste rekenkracht. De lange afstand waarover de spanningsveld van de dislocaties effect heeft, leidt tot een hoge rekenintensiteit, waardoor het aantal cycli dat gesimuleerd kan worden beperkt is. Verschillende algoritmes om de simulaties te versnellen zijn geprobeerd, maar ze falen door het chaotische karakter van de dislocatieinteracties. Meer werk in deze richting is in de toekomst nodig om in staat te zijn om meer fysisch realistische simulaties uit te kunnen voeren.

