

University of Groningen

## Fast-moving dislocations in high strain rate deformation

Roos, Arjen

**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:*

1999

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

*Citation for published version (APA):*

Roos, A. (1999). *Fast-moving dislocations in high strain rate deformation*. 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

SCHEIDINGS- EN omvormprocessen gaan veelal gepaard met hoge vervormingsnelheden. Voorbeelden hiervan zijn een metalen plaat die door een explosie in een mal geperst wordt of een kogel die een pantserplaat doorboort. Ook bij minder gewelddadige processen met een lagere *globale* vervormingssnelheid kan deze *lokaal* toch nog oplopen tot  $10^3$ – $10^4$  s<sup>-1</sup>. Een voorbeeld is het ponsen van een gat in een metalen plaat. Onder dergelijke omstandigheden is het moeilijk om de mechanische respons *tijdens* het vervormen te meten. Toch bestaat er in de industrie grote behoefte om het vervormingsgedrag onder deze extreme condities goed te kunnen voorspellen. Met nauwkeurige voorspellingen tijdens de ontwerpfase kunnen veel nabewerkingsstappen worden geëlimineerd. Momenteel worden dergelijke voorspellingen veelal gedaan op basis van *bekend verondersteld* materiaalgedrag op een *macroscopische* schaal, de zogenaamde *constitutieve vergelijkingen*.

Dit proefschrift stelt een geheel andere aanpak voor: voorspellen van de *macroscopische* eigenschappen op basis van *microscopische* processen. Daarbij wordt een bepaald lijndefect in een polykristallijn materiaal, de zogenaamde dislocatie, als singuliere pakezel beschouwd van de mechanische belasting. Met name concentreert het onderzoek zich op de afschuiving van slechts één korrel op de micrometer-schaal. Op deze lengteschaal spelen de spannings- en verplaatsingsvelden van dislocaties een belangrijke rol, evenals hun interactie onderling en hun interactie met obstakels.

Na de inleiding in Hoofdstuk 1 beschrijft Hoofdstuk 2 de methodologie van de simulaties. De modellering vindt plaats in een tweedimensionale rekencel, die periodiek is in de horizontale richting. De rekencel representeert een slipsysteem in een korrel van een dichtgepakt metaal. De rekencel bevat daartoe randdislocaties

die over parallelle, horizontale glijvlakken bewegen. Op de glijvlakken bevinden zich verder nog gebieden waar dislocaties worden gegenereerd, en obstakels die vrije dislocatiebewegingen hinderen. Verder zijn regels vastgelegd voor het geval twee dislocaties elkaar tegenkomen.

Om de vervorming van de rekencel te berekenen is gekozen voor de methode van *Discrete Dislocation Plasticity* (DDP). Deze methode is gekozen omdat daarmee de dislocatie-interacties expliciet worden beschreven. De spannings- en verplaatsingsvelden van randdislocaties in een *oneindig* medium zijn algemeen bekend. In het geval van een *eindig* medium kunnen randeffecten een belangrijke rol spelen. De methode van Discrete Dislocation Plasticity lost dit op door het probleem te splitsen. Eerst worden de dislocatie-interacties beschreven als in een oneindig medium, en vervolgens wordt met behulp van een eindige elementen methode voor de randeffecten en randvoorwaarden gecorrigeerd.

In extreme gevallen kan een dislocatiesnelheid dezelfde orde van grootte bereiken als de geluidssnelheid in het materiaal. In een elastische beschrijving is de geluidssnelheid de maximale snelheid voor signaaloverdracht. Bij dergelijke snelheden kunnen de spannings- en verplaatsingsvelden van een dislocatie niet meer benaderd worden met hun statische vorm. Om de velden bij hoge dislocatiesnelheden toch te kunnen beschrijven moet een transformatie worden toegepast (de Lorentz-transformatie), die ook gebruikt wordt in de speciale relativiteitstheorie. In dit geval neemt de geluidssnelheid de rol over van de lichtsnelheid. Vooral voor hoge snelheden verandert het veld drastisch: op het glijvlak verandert zelfs het teken van de schuifspanning!

Boven een bepaalde opgelegde spanning kunnen de obstakels de dislocatiebeweging niet meer tegenhouden. Dit heet het viskeuze regime dat verder naar de fysica uitgediept wordt in Hoofdstuk 3. De dislocatiebeweging wordt echter nog wel gedempt. De relatie tussen aangelegde spanning en dislocatiesnelheid heet de *drag*-relatie. Meestal wordt hiervoor een lineair verband aangenomen. Bij hoge spanningen leidt dit echter tot supersonische dislocatiesnelheden. Door verschillende fysische dempingsmechanismen te beschouwen (vasthouden door verontreinigingen, elektronen- en fononendemping) hebben wij een *drag*-relatie *afgeleid* die sterk overeenkomt met de in de literatuur *gepostuleerde* relatie. Het mechanisme van vasthouden door verontreinigingen, dat bij langzame vervorming een dominante rol speelt, blijkt al bij relatief lage snelheden uitgeschakeld te worden.

In de simulaties van Hoofdstuk 4 blijkt dat sommige dislocaties inderdaad de snelheden bereiken waarbij de velden significant veranderen. *Lokaal* kan dit grote verschillen in de spanning en verplaatsing geven. Toch laat een vergelijking van de spanning-rek curven zien dat dit op een grotere lengteschaal geen significant effect meer heeft. Dit komt door het relatief kleine aantal dislocaties dat de hoge snelheden bereikt, zodat de *lokale* spanningsveranderingen in de *overall*spanning een verwaarloosbare invloed hebben.

Een van de effecten van een zeer snelle lokale vervorming is een plotselinge temperatuurstijging. Hierover gaat Hoofdstuk 5. Deze temperatuurstijging kan zó hoog zijn dat het materiaal smelt. De temperatuurstijging wordt veroorzaakt doordat de mechanische arbeid die tijdens het proces wordt verricht, in warmte wordt omgezet. Door de korte procestijd heeft de geproduceerde warmte geen tijd om zich door het materiaal te verspreiden. Lokaal veroorzaakt dit een grote temperatuurstijging. Dit heeft weer effect op de effectieve obstakelsterkten en de dislocatiedemping, waardoor de vervorming anders verloopt dan wanneer de warmte voldoende tijd gehad zou hebben om zich over een groter gebied te verspreiden.

Er zijn schattingen bekend van de orde van grootte van de temperatuurstijging tengevolge van bewegende dislocaties. Deze analyses gelden echter voor thermisch evenwicht, lage vervormingssnelheden en een constante afstand tussen dislocaties. Uit deze analyses volgt dat de maximale temperatuurstijging door dislocatiebeweging van de orde van enkele tientallen graden is, wat lang niet genoeg is om het materiaal te laten smelten. Een verklaring die wordt gegeven is een pile-up van dislocaties tegen een obstakel die plotseling doorbroken wordt. Alle energie die opgeslagen ligt in de pile-up zou dan in een keer omgezet worden in warmte.

In Hoofdstuk 5 wordt de vraag onderzocht of deze conclusies ook gelden voor snelle vervorming. De methode van Discrete Dislocation Plasticity heeft het voordeel dat van alle warmtebronnen (de dislocaties) positie en snelheid bekend zijn en leent zich daarom uitstekend voor het doen van meer precieze uitspraken over de temperatuurstijging. In Hoofdstuk 5 wordt aangetoond dat het temperatuurveld zowel analytisch als numeriek te berekenen is. Daarbij wordt rekening gehouden met het feit dat de procestijd korter is dan de tijd die de gegenereerde warmte nodig heeft om tot een evenwichts-temperatuurverdeling te komen. Het analytische model is vervolgens gebruikt om het numerieke model te valideren. Het model laat in Aluminium en Titaan de invloed van lokalisatie van de temperatuur zien. De berekeningen van Hoofdstuk 5 wijzen uit, dat de temperatuurstijging tengevolge van bewegende dislocaties ten hoogste enkele tientallen graden bedraagt.

Hoofdstuk 6 bevat, naast een samenvatting, ook een vooruitblik. De temperatuurstijging die Hoofdstuk 5 voorspelt op basis van de DDP-methode wordt vergeleken met een berekening die uitgaat van een *macroscopische* constitutieve vergelijking. Hoewel beide berekeningen elkaar bevestigen, voorspellen ze niet het smelten van het metaal. Een dergelijke temperatuurstijging zou echter wél veroorzaakt kunnen worden door het zich voortplanten van een *scheur*. De spanningen en verplaatsingen rond een scheur kunnen beschreven worden in termen van distributies van dislocaties, die weer gemodelleerd kunnen worden met de DDP-methode. Hierin kunnen eventueel dynamische effecten (inertia) en het bewegen van initieel aanwezige dislocaties rond de scheur worden meegenomen. De lokale temperatuurstijging bij snelle vervorming wordt slechts voor een klein deel gegenereerd door het afschuiven van het materiaal, terwijl het zich snel voortplanten van een scheur temperatuurstijgingen kan opleveren van honderden graden.

