

University of Groningen

Size-dependent plasticity in contact/friction: from discrete dislocation dynamics inside an asperity to statistical summation over asperities

Song, Hengxu

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:

2016

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

Citation for published version (APA):

Song, H. (2016). *Size-dependent plasticity in contact/friction: from discrete dislocation dynamics inside an asperity to statistical summation over asperities*. Rijksuniversiteit Groningen.

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

Het doel van dit proefschrift is een beter begrip te krijgen van contact en wrijving tussen oppervlakken op (sub-)micrometer-schaal, met de nadruk op de mogelijke rol van lengte-afhankelijke plasticiteit.

De ruwheid van natuurlijke oppervlakken komt in de vorm van ‘*asperities*’, onffenheden met afmetingen van micrometers of kleiner. Het is bekend dat plasticiteit op deze lengteschalen lengte-afhankelijk is: kleiner is harder. Bestaande contact-/wrijvingmodellen, zoals het statistische Greenwood-Williamson-model (GW-model) en uitbreidingen daarvan, zoals Perssons contactmodel voor fractale oppervlakken en eindige-elementenmodellen, negeren plasticiteit echter, of gebruiken lengte-onafhankelijke plasticiteit. Er is dus de behoefte om lengte-afhankelijke plasticiteit te integreren in contact-/wrijvingmodellen.

Lengte-afhankelijke plasticiteit wordt in dit proefschrift beschreven door tweedimensionale discrete-dislocatieplasticiteit (2D DDP), en in drie dimensies door conventionele mechanisme-gebaseerde vervormingsgradiëntplasticiteit (*strain gradient plasticity*, CMSGP), gezien hun vermogen om lengte-effecten te voorspellen en hun succesvolle toepassingen in verscheidene problemen.

In 2D DDP is plasticiteit het gevolg van de gezamenlijke beweging van discrete dislocaties die worden gemodelleerd als lijn-singulariteiten in een isotroop lineair elastisch medium. De materiaalafhankelijke lengtes in het DDP-model – Burgersvector, gemiddelde bron-/obstakel-/dislocatie-afstand – zorgen ervoor dat lengte-effecten in plasticiteit kunnen worden voorspeld.

CMSGP is een uitbreiding van conventionele J_2 -plasticiteitstheorie, waarin de effecten wordt meegenomen van geometrisch noodzakelijke dislocaties (GNDs) die gerelateerd zijn aan de plastische-vervormingsgradiënt. Een intrinsiek materiaalafhankelijke lengte, in de orde van microns groot, stelt dit model in staat om lengte-effecten in plasticiteit te voorspellen.

Hoofdstukken 3, 6 en 7 gebruiken 2D DDP om contact en wrijving van een enkele asperity in twee dimensies te bestuderen.

In hoofdstuk 3 wordt gekeken naar samendrukking van een asperity met behulp van een versimpelde geometrie (pilaar). Als gevolg van toenemende pilaargrootte vertoont het model op natuurlijke wijze een overgang van lengte-afhankelijke naar lengte-onafhankelijke plasticiteit. Het blijkt dat lengte-afhankelijkheid te

maken heeft met grote fluctuaties in vloeispanning, en kritieke 'lawines' die verklaard kunnen worden door *depinning* (onthechting). Wanneer obstakels voor dislocatiebeweging veel sterker zijn dan dislocatiebronnen wordt het gedrag door depinning bepaald, wat leidt tot lengte-afhankelijke vloeï en lawines van plastische afschuiving. Als de kracht van dislocatiebronnen echter vergelijkbaar is met die van obstakels zijn lengte-effecten in de vloeigrens afwezig en is de dynamica van plasticiteitslawines sterk universeel.

Hoofdstuk 6 richt zich op de wrijving tussen een star vlak en een vervormbaar kristal onder schuifspanning. Het grensvlak wordt gesimuleerd als '*cohesive zone*' terwijl de plasticiteit van het kristal met behulp van discrete dislocaties wordt beschreven. Het blijkt dat de wrijvingskracht wordt bepaald door een wedloop tussen breuk van het grensvlak en plastische vervorming van het kristal. Deze wedloop wordt niet alleen beïnvloed door de materiaaleigenschappen van het kristal en de sterkte van het grensvlak, maar ook door de belastingssnelheid.

Hoofdstuk 7 behandelt de vervorming van een in elkaar grijpend paar asperities, wanneer dit onder schuifspanning wordt belast. Het blijkt dat de aanvankelijke ploegdiepte geen sterke invloed heeft op de kracht die nodig is om een asperity plastisch te vervormen. Een nog verrassender resultaat is dat de kracht die nodig is een asperity te vervormen, voor verschillende groottes zelfgelijkende asperities, onafhankelijk is van lengte.

Hoofdstukken 2, 4 en 5 richten zich op het drie-dimensionale contact tussen ruwe oppervlakken.

In hoofdstuk 2 laten we een van de voornaamste beperkingen van het statistische Greenwood-Williamson-model los, namelijk dat asperities onafhankelijk vervormen. Interactie tussen asperities wordt veroorzaakt door asperities die contact maken met het andere oppervlak en doorgegeven door het substraat. Het gevolg hiervan is dat een asperity die contact maakt naburige asperities naar beneden trekt. De grootte van dit effect is afhankelijk van de afstand tot de asperity die contact maakt en de grootte van zijn vervorming. Door met behulp van statistische sommatie de verandering in de gemiddelde hoogte van asperities te berekenen, blijkt dat de interactie tussen asperities de contact-kracht reduceert ten opzichte van wat de contact-kracht zou zijn als asperities onafhankelijk zouden vervormen. Het effect van asperity-interacties is afhankelijk van oppervlakeigenschappen: de gemiddelde krommingsstraal van asperities, de standaardafwijking van oppervlakhoogte, en de oppervlaktedichtheid van asperities.

De respons van een enkele asperity, een invoerparameter voor het GW-model, is nochtans gebaseerd op lengte-onafhankelijke J_2 -plasticiteitstheorie. Daarom geven we in hoofdstuk 5 de lengte-afhankelijke respons van een asperity, bere-

kend met behulp van CMSGP. De intrinsieke lengteschaal voor afvlakking van asperities in CMSGP wordt verkregen door te vergelijken met 2D-simulaties met DDP. Het blijkt dat de ruwweg lineaire samenhang tussen het werkelijke contactoppervlakte en de loodrechte belasting, zoals voorspeld door het statistische model, universeel is, ongeacht de plastische eigenschappen van het materiaal en de ruwheid van het oppervlak. Deze kenmerken hebben alleen invloed op de helling van de lineaire afhankelijkheid, oftewel op de gemiddelde contactdruk. Dit komt overeen met de uitkomsten van gedetailleerde eindige-elementenberekeningen in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 4 wordt ook in detail gekeken naar hoe de drukverdeling in asperities afhangt van materiaaleigenschappen en van de ruwheid van de oppervlakken.

