The artificial microstructure model and its applications on plasticity and damage of the dual phase steel

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von Master of Science

Napat Vajragupta

aus Bangkok, Thailand

Berichter: Univ. -Prof. Dr. -Ing. Wolfgang Bleck

Prof. Dr. rer. nat. Alexander Hartmaier

Univ. -Prof. Dr. rer. nat. Udo Kamps

Tag der mündlichen Prüfung: 31. August 2015

Berichte aus dem
Institut für Eisenhüttenkunde

Napat Vajragupta

The artificial microstructure model and its applications on plasticity and damage of the dual phase steel

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. W. Bleck
Prof. Dr.rer.nat. Dr.-Ing.e.h. W. Dahl
Prof. Dr.-Ing. H.W. Gudenau
Prof. Dr.-Ing. D. Senk

Band 8/2015

Shaker Verlag

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2015)

Copyright Shaker Verlag 2015
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3930-6
ISSN 0943-4631

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen
Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

“If you don’t believe you can do it then you have no chance at all”

Arsene Wenger

For the people who got the hard copy and would like to have the coloured pictures, please contact me via nvajragupta@gmail.com. I will be happy to provide you the further information.

Acknowledgement

I would like to express my gratitude to Prof. Bleck and Prof. Hartmaier for the supervision, evaluation of this dissertation, and advices on both scientific point of view and the perspective of life. I also thank Prof. Kamps for the suggestion on the theory of statistic. I am deeply thankful to Dr. Sebastian Münstermann for believing in me and giving me the freedom to exhibit my passion. Your optimistic attitude drives me to this goal.

I would like to give my thanks to Mohamed Sharaf for encountering this scientific adventure. Thank you very much for helping me passing through the obstacles that prevented me from reaching this point. I also would like to thank my colleagues from the materials mechanics group (Andrea, Benedikt, Bo, Denis, Georg, Jinshan, Karl, Pawel, Victoria, Warm, and Yidu) for reasonably manipulating and sharing this great journey with me. In addition, I would like to thank Dr. Ma, Benjamin, Martin and the colleagues from ICAMS for the scientific collaboration and fruitful discussions.

Jimmy, despite the fact that we see the world differently, it is amazing that we have gone through this valuable experience together. And because of our long friendship, only one paragraph for you will not be enough to express my appreciation. In fact, I can even write another book about you and the first chapter will be called “My name is Jarod”. Thank you very much for being a friend with me.

I am deeply thankful to my girlfriend, Karuna, for being with me through the difficult time and enjoying the remarkable moment together. I am looking forward to the next chapter of us.

I am inestimably indebted to my family for the unconditional love and support. Thank you for teaching me to be tough and pushing me across the boundary.

NAPAT VAJRAGUPTA
AACHEN, GERMANY
SEPTEMBER, 2015

Abstract

In the recent decades, notable development on the computing power improves the human understanding about the microstructure-properties relationship. This results in the development of the new materials with enhanced properties. Micromechanical modelling approach is also another example of the computational materials discipline that has been heavily involved in this evolution of materials science and engineering. In the field of micromechanical modelling, the representative volume element (RVE) or the microstructure model is considered as one of the crucial issues as it must carry all the necessary information about the microstructure morphology into the practical numerical simulation. Furthermore, some of the RVE properties such as the periodicity, grain's geometry etc. are also required. Nonetheless, most of the available platforms to generate the RVE still cannot fulfil all of these demands. It is then the responsibility of the micromechanical modelling community to come up with the platform to generate the RVE in which these needs can be met.

Therefore, the objective of this study is to develop a universal platform for the generation of the RVE and it is called "The artificial microstructure model". This platform makes use of the necessary statistical information about the microstructure morphology as the input parameters for the weighted Voronoi tessellation based algorithm. Furthermore, the applications of this artificial microstructure model on plasticity and damage modelling of the dual phase steels are also discussed. As these applications require the plasticity descriptions of the constituents, the sounded plasticity models along with the parameters calibration techniques are applied. For ferrite, phenomenological crystal plasticity framework is implemented whereas the nanoindentation test is used for the parameters calibration. Meanwhile, martensite deploys the empirical approach based on the measured local chemical composition to approximate the flow curve. Concerning the damage modelling, the hybrid approach combining the in-situ bending test in the large chamber scanning electron microscope (LC-SEM) with the micromechanical-based simulation discipline is conducted to characterize the microcrack initiation criterion. By integrating these work packages together, the application of the artificial microstructure model on plasticity and damage modelling of the dual phase steels can then be completed.

Kurzfassung

Die in den letzten Jahrzehnten bemerkenswert gesteigerten Rechenleistungen haben zu einem besseren Verständnis des Mikrostruktur-Eigenschaften Verhältnisses geführt. Dies kann einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung neuer Werkstoffe mit verbesserten Eigenschaften leisten. Als Anwendungsbeispiel in der Werkstoffmechanik ist der Ansatz der mikromechanischen Modellierung ein zentraler Bestandteil der Entwicklung innerhalb der Werkstoffwissenschaften. Im Bereich der mikro-mechanischen Modellierung stellt der Aufbau eines repräsentativen Volumenelements (RVE; auch Mikrostrukturmodell benannt) eine der Kernfragen dar, da es die wichtigsten Kennwerte der Gefüge-morphologie für eine zuverlässige numerische Simulation enthalten muss. Ferner ist die Berücksichtigung weiterer RVE Eigenschaften wie die Periodizität, die Korngeometrie usw. erforderlich. Nicht-destotrotz kann die große Mehrheit der aktuell vorliegenden RVE Erstellungs-algorithmen diese Anforderungen nicht vollständig erfüllen. Es ist daher eine wichtige Aufgabe der mikromechanischen Modellierungs-Gemeinschaft, umfang-reichere RVE Erstellungsalgorithmen bereitzustellen, so dass den Anforderungen Rechnung getragen wird.

Dementsprechend ist das Ziel dieser Arbeit, eine Universalplattform zur Erstellung von RVEs zu entwickeln. Dieser wird die Bezeichnung „Das künstliche Mikrostrukturmodell“ verliehen. Diese Plattform benutzt relevante statistische Daten über die Gefügemorphologie als Eingabeparameter für den gewichteten Voronoi-Tessellierungs-Algorithmus. Außerdem werden praktische Anwendungen des künstlichen Mikrostrukturmodells zur Modellierung der plastischen Verformung und der Schädigung von Dualphasenstählen vorgestellt und diskutiert. Da für diese Anwendungen die Beschreibung des Plastizitätsverhaltens der Gefügebestandteile notwendig ist, werden die Plastizitätsmodelle sowie die Kalibriertechniken zur Bestimmung deren Parameter im Rahmen der Arbeit entwickelt und umgesetzt. Für Ferrit wird ein phänomeno-logisches Kristallplastizitätsmodell implementiert, wobei die Parameter mit Hilfe des Verfahrens der Nanoindentation kalibriert werden. Die lokale Fließkurve der martensitischen Bereiche wird anhand eines empirischen Ansatz beschrieben, der auf der lokalen chemischen Zusammensetzung basiert. Für die Schädigungs-modellierung wird ein Hybridansatz aus einem in-situ-Biegeversuch im Grosskammer Rasterelektronenmikroskop und entsprechender mikro-mechanischer Simulation zur Charakterisierung eines Kriteriums für Mikrorissinitierung entwickelt. Durch Zusammenführung der entwickelten Arbeitspakete können verschiedene Anwendungen des künstlichen Mikrostrukturmodells zur Modellierung des Plastizitäts- und Schädigungsverhaltens von Dualphasenstählen durchgeführt werden.

Table of contents