UNIVERSITÄT PADERBORN
Die Universität der Informationsgesellschaft

Chun Cheng

A multi-mechanism model for cutting simulations combining asymmetric effects and gradient phase transformations

Werkstoffmechanik

Lehrstuhl für Technische Mechanik
Prof. Dr.-Ing. Rolf Mahnken

P-2019-2

A multi-mechanism model for cutting simulations combining asymmetric effects and gradient phase transformations

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Paderborn

genehmigte
Dissertation

von
Chun Cheng, M.Sc.
aus Paderborn, Deutschland

Tag des Kolloquiums:	10. Januar 2019
Referent:	Prof. Dr. -Ing. Rolf Mahnken
Korreferenten:	Prof. Dr. -Ing. Andreas Menzel
	Prof. Ecart Uhlmann

Schriften des Lehrstuhls für Technische Mechanik
herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Rolf Mahnken, M.Sc.

P-2019-2

Chun Cheng

A multi-mechanism model for cutting simulations combining asymmetric effects and gradient phase transformations

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2019

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.: Paderborn, Univ., Diss., 2019

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Rolf Mahnken, M.Sc.
Lehrstuhl für Technische Mechanik
Warburger Straße 100
33098 Paderborn
Tel.: +(49) 5251 602283

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6504-6
ISSN 1867-1675

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

Abstract

In order to study the white layer formation and several mechanisms in high speed cutting, we develop a multi-mechanism model (MMM) for cutting simulation taking asymmetric visco-plasticity, phase transformation and transformation induced plasticity (TRIP) into account. To this end, the well-known Johnson-Cook model is extended by the concept of weighting functions for considering the asymmetric effect, which labels different material behaviors under tension, compression and shear. For the special scenario of high speed cutting with martensite as the initial phase, two phase transformations are considered: 1. Transformation of the martensitic initial state into austenite, then 2. retransformation to martensite. The model is formulated within a thermodynamic framework at large strains, and specialized and applied to high speed cutting.

Furthermore, we extend the MMM with a phase gradient based on the concept of generalized stresses proposed by Gurtin and Forest in order to consider different interface energies appearing in phase transformations. To this end, the austenite mass fraction, which represents a chemical variable, is treated as an extra degree of freedom in the modelling part as well as in the finite element formulation. We consider its first gradient and study its influence on the phase transformations. Moreover, hardness dependency and hardness modification due to white layer formation are taken into account.

Zusammenfassung

Um die Weißschichtbildung und verschiedene Mechanismen im Hochgeschwindigkeitszerspanen zu untersuchen, wird ein Mehrmechanismenmodell (MMM) für Zerspansimulation entwickelt, wobei asymmetrische Visko-Plastizität, Phasenumwandlung und Umwandlungsplastizität (TRIP) berücksichtigt werden. Zur Berücksichtigung der asymmetrischen Visko-Plastizität wird das bekannte Johnson-Cook Modell um das Konzept der Wichtungsfunktionen erweitert. Für das spezielle Szenario Hochgeschwindigkeitszerspanen mit Martensit als Anfangsphase werden zwei Phasenumwandlungen berücksichtigt: 1. Umwandlung von der Anfangsphase Martensit in Austenit, dann 2. Rückwandlung in Martensit. Das Modell wird in einem thermodynamischen Rahmen für große Deformation formuliert und anschließend für Hochgeschwindigkeitszerspanen spezialisiert und angewendet.

Des Weiteren wird das MMM zur Berücksichtigung von unterschiedlichen auftretenden Interface-Energien um einen Phasengradienten erweitert, wobei die verallgemeinerte Theorie von Gurtin und Forest zugrunde gelegt wird. Zu diesem Zweck stellt der austenitische Massenanteil eine chemische Variable dar und wird als zusätzlicher Freiheitgrad sowohl in der Materialmodellierung als auch in der Finite-Element-Formulierung behandelt. Der erste Gradient von dem austenitischen Massenanteil wird berücksichtigt und dessen Einfluss auf die Phasenumwandlungen wird untersucht. Darüber hinaus werden Härteabhängigkeit und Härteänderung infolge Weißschichtbildung berücksichtigt.

Preface

This work was carried out between 2011 and 2017 at the Chair of Engineering Mechanics (LTM) at the University of Paderborn, Germany. The research work was founded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) under the grants MA 1979/13-1, MA 1979/13-2 and MA 1979/13-3 within the joint research project SPP 1480: "Thermomechanische Simulation des Hartdrehens mit makroskopischen Modellen und Phasenfeldmodellen".

At first, I would like to thank my supervisor Professor Rolf Mahnken for giving me the opportunity to work in the pleasant atmosphere in our group the Chair of Engineering Mechanics and for his encouragement and kindly support. I would like also to express my appreciation to my project partner Professor Eckart Uhlmann and Dr. Ivan Mitkov Ivanov for the experimental support and the constructive teamwork. For the co-review I want to thank Professor Andreas Menzel and Professor Eckart Uhlmann.

Furthermore, I gratefully acknowledge the support of the company Nordmetall, Adorf, Germany, for performing the mechanical tests related to the visco-plasticity and the asymmetric hardness dependency, and Stiftung Institut für Werkstofftechnik (IWT), University of Bremen, for performing the dilatometer tests related to the TRIP-strains.

Finally, I would like to thank my family, my wife Zhiyuan Zhang, my daughter Nanxi Cheng and my son Jerry Jinrui Cheng for their unconditional love and my parents Dahuo Cheng and Zhengxiu Liu for their endless love and financial support.

Paderborn, 17.01.2019 Chun Cheng

Publications

1. Cheng, C., Mahnken, R., 2018, A multi-mechanism model for cutting simulation: A Ginzburg-Landau type phase gradient and numerical implementations, International Journal of Solids and Structures, In Press

2. Cheng, C., Mahnken, R., 2016, Extension of A Multi-Mechanism Model: Hardness-based flow and Transformation induced Plasticity for Austenitization, International Journal of Solids and Structures, **102-103**, 127-141

3. Cheng, C., Mahnken, R., 2015, A multi-mechanism model for cutting simulations based on the concept of generalized stresses, Comp. Mat. Sci., **100**, B, 144-158

4. Mahnken, R.; Wolff, M.; Cheng, C., 2013, A multi-mechanism model for cutting simulations combining visco-plastic asymmetry and phase transformation, Int. J. Solids Struct. **50**, 3045-3066

5. Uhlmann, E.; Mahnken, R.; Ivanov, I. M.; Cheng, C., 2018, Thermo-Mechanical Simulation of Hard Turning with Macroscopic Models, In: Thermal Effects in Complex Machining Processes: final report of the DFG priority programme 1480, Production Engineering, Springer International Publishing,

6. Mahnken, R.; Cheng, C.; Düsing, M.; Ehlenbröker, U.; Leismann, T., 2016, The concept of generalized stresses for computational manufacturing and beyond. GAMM-Mitt. 39, No.2, S.229–265

7. Schulze, V.; Uhlmann, E.; Mahnken, R.; Menzel, A.; Biermann, D.; Zabel, A.; Bollig, P.; Ivanov, I. M.; Cheng, C.; Holtermann, R.; Bartel, T., 2015, Evaluation of different approaches for modeling phase transformations in machining simulation, Production Engineering, Springer

8. Uhlmann, E.; Mahnken, R.; Ivanov, I. M.; Cheng, C., 2015, A novel finite element approach to modeling hard turning in due consideration of the viscoplastic asymmetry effect, Procedia Cirp, Proceedings of the “15th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations”, June 11 - 12, 2015, Karlsruhe, Germany

Contents