



Doctoral Thesis

Chip formation analysis of innovative graphitic steel in drilling processes

Author(s):

Smolenicki, Darko

Publication Date:

2017

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010877536> →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH No. 24000

Chip formation analysis of innovative graphitic steel in drilling processes

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Darko Smolenicki

Dipl.-Ing.

born on 07th April 1983

citizen of Croatia

accepted on the recommendation of:

Prof. Dr.-Ing. Konrad Wegener, examiner

Dr. sc. nat. Hans Roelofs, co-examiner

2017

Abstract

Leaded free-cutting steels have been classified as first choice for machining operations due to their enhanced machinability. Motivated by legal regulations concerning a lead (Pb) prohibition in steel, new environmental friendly concepts of steels are needed. The investigated innovative graphitic steel can substitute lead by the formation of graphitic inclusions in a ferritic matrix. On the one hand graphite inclusions should serve as a solid lubricant and on the other hand generate shorter breaking chips. The actual effect of graphite on chip formation processes is investigated in this thesis. The characterisation of machinability includes turning, drilling, cutting process tribology and quick-stop experiments. A benchmark of graphitic steel with four other leaded and unleaded steels is undertaken for all machining investigations. Tribological analysis in orthogonal turning is performed by application of a cutting process tribometer under near real process conditions, in order to verify if the graphite inclusions reduce friction during cutting. By performing quick-stop test in drilling the chip formation is visualised. Two different methods are applied, the classical metallurgical microsections and the non-destructive micro computer tomography (μ CT), in order to provide a detailed insight into the generated chip roots. Thereby the chip thickness, the chip compression ratio and corresponding shear angles can be observed precisely and a direct comparison to reference materials can be undertaken. The high strain rate material testing is done for the graphitic steel at elevated strain rates and temperatures by applying compression tests with deformation dilatometry. Additional test at high strain and high strain rates are performed by using the Split-Hopkinson-Tension-Bar (SHTB) complemented through Split-Hopkinson-Pressure-Bar (SHPB) measurements. The obtained flow curves represent the input for material modelling. Based on the Johnson Cook material model the corresponding parameters are identified and implemented in a 3D thermomechanical Finite Element Method (FEM) simulation of drilling. The chip shapes from simulations and its cross sections are validated with experimental chip roots derived by μ CT. Further, the developed evaluation procedure using quick-stop test can be used as a potential validation-tool, for the verification of FEM-simulation results of the drilling process. Moreover the influence of friction coefficient on chip formation and process forces is investigated. The friction-reducing effect of graphite inclusions in cutting is demonstrated, which explains enhanced machinability of graphitic steel despite of a higher mechanical strength.

Keywords: graphitic steel, drilling, chip formation, high strain rate material testing, constitutive modelling, FEM-simulation

Zusammenfassung

Bleihaltige Automatenstähle werden vorzugsweise aufgrund Ihrer Zerspanbarkeit verwendet. Motiviert durch ein bevorstehendes gesetzliches Verbot des Bleis, als Legierungsbestandteil im Stahl, werden neue umweltfreundliche Stahlkonzepte benötigt. Beim hier untersuchten innovativen graphithaltigen Stahl wird Blei und Schwefel funktionsmässig durch die Bildung von Graphitausscheidungen in einer ferritischen Matrix ersetzt. Einerseits soll das Graphit als Festkörperschmiermittel dienen, andererseits kurzbrechende Späne erzeugen. Die tatsächliche Wirkung des Graphites auf den Spanbildungsprozess wird im Rahmen dieser Arbeit untersucht. Die experimentelle Charakterisierung der Zerspanbarkeit umfasst Dreh und Bohrversuche, In-Prozess Tribologie und Spanwurzeluntersuchungen. Dabei wird der graphitische Stahl einem Vergleichstest mit vier weiteren bleihaltigen und bleifreien Automaten- resp. Vergütungsstählen für die Zerspanung unterzogen. Mittels tribologischer Untersuchungen im orthogonalen Drehversuch wird die reibungs- und verschleissmindernde Wirkung der Graphiteinschlüsse nachgewiesen. Die Spanwurzeluntersuchung basiert auf einem schlagartigen Unterbruch des Bohrprozesses (Quick-stop), wobei die Späne im Bohrungsgrund haften bleiben und ein genauerer Einblick in die Spanbildung ermöglicht wird. Zwei Auswertemethoden werden angewendet, klassische metallurgische Schliffe sowie die zerstörungsfreie Mikro-Computertomographie (μ CT). Dadurch wird die Spandicke, Spanstauchung und Scherwinkel in Abhängigkeit vom Werkzeugradius ermittelt und mit den ausgewählten Referenzmaterialien direkt verglichen. Der graphitische Stahl ist einer Materialprüfung mit hohen Dehnraten unterzogen, wobei Dilatometer Stauchversuche bei erhöhten Dehnraten und Temperaturen durchgeführt werden. Zusätzliche Tests bei hohen Dehnungen und hohen Dehnraten werden durch die Verwendung der Split-Hopkinson-Tension-Bar (SHTB) durchgeführt und durch Split-Hopkinson-Pressure-Bar (SHPB) Messungen ergänzt. Die erhaltenen Fließkurven stellen die Eingangsgrößen für die Materialmodellierung dar. Basierend auf dem Johnson Cook Materialmodell werden die entsprechenden Parameter identifiziert und in einer 3D-thermomechanischen FEM-Simulation des Bohrens angewendet. Die simulierten Spanformen und deren Querschnitte werden mit den experimentellen Spanwurzeln verglichen, welche per μ CT digitalisierten wurden. Zusätzlich bietet das hier entwickelte Auswerteverfahren ein Validierungswerkzeug, das für die Überprüfung von FEM-Zerspanungssimulationen verwendet werden kann. Darüber hinaus wird der Einfluss des Reibungskoeffizienten auf die Spanbildung und die Prozesskräfte untersucht. Trotz höherer mechanischer Festigkeit verfügt der untersuchte graphitische Stahl über eine gute Zerspanbarkeit. Die reibungsmindernde Wirkung des Graphites während des Spanens ist hierin nachgewiesen.

Schlagwörter: graphitischer Stahl, Bohren, Spanbildung, Materialprüfung mit hohen Dehnraten, Material-modellierung, FEM-Simulation