

Zusammenfassung

Kühlschmierstoff (KSS) wirkt auf den Spanbildungsprozess auf Basis der drei Hauptwirkungsmechanismen Kühlung, Schmierung sowie der hydrodynamischen Kraft, welche unter anderem den Spanabtransport fördern. Technologisch wird durch den Einsatz von KSS verfolgt, dass die Standzeit der Werkzeuge steigt, sich die Werkstückqualität erhöht und die allgemeine Zerspanbarkeit verbessert wird. Allerdings werden diese Ziele nicht vollumfänglich erreicht, sondern hängen von einer komplexen, hochgradig nichtlinearen Interaktion der Hauptwirkungsmechanismen mit dem Spanbildungsprozess zusammen.

Um zusätzlich zu messtechnischen und analytischen Methoden eine numerische Analysemöglichkeit zur Prozessanalyse zu schaffen, ist das Hauptziel dieser Dissertation ein Simulationsmodell der Zerspanung mit KSS zu entwickeln, zu verifizieren und anzuwenden. Insbesondere die Fluid-Struktur-Interaktion während der dynamischen Spanbildung stellt viele Simulationsverfahren vor elementare Herausforderungen. Als Lösungsansatz wird die Finite-Pointset-Methode (FPM), welche speziell für komplexe Fluid-Struktur-Interaktionen entwickelt worden ist, verwendet.

In einem ersten Schritt wird die Güte der FPM hinsichtlich der Abbildungsgenauigkeit der trockenen Spanbildung erhöht, indem die werkstoffmechanischen Grundlagen weiterentwickelt werden und ein Modell der trockenen Spanbildung schrittweise erarbeitet und evaluiert wird. Um die KSS-Randbedingungen für das Simulationsmodell zu bestimmen, werden messtechnische und simulative Analysen der KSS-Strömung im Bearbeitungsraum durchgeführt. Des Weiteren werden die Hauptwirkungsmechanismen mittels Analogieexperimenten charakterisiert, modelliert und verifiziert. Anschließend wird dieses erarbeitete Wissen genutzt, um ein gesamtheitliches Simulationsmodell der Zerspanung mit KSS aufzubauen.

Die Evaluation erfolgt an einer umfangreichen Versuchsreihe, wodurch gezeigt werden kann, dass das Simulationsmodell KSS-bedingte Effekte abbildet. Zum Abschluss werden die Vorteile der numerischen Herangehensweise bei der Analyse eines Orthogonaldrehprozesses mit KSS für die Werkstoffe C45 und Inconel 718 genutzt. Dazu werden die Spannungs- und Temperaturfelder im Span ausgewertet, welche ein Novum darstellen und neue tiefgehende Einblicke in den Zerspanungsprozess mit KSS ermöglichen. Die Ergebnisse deuten unter anderem darauf hin, dass eine Hochdruckkühlung im Unterschied zur Überflutungskühlung zu einer Reduzierung der hydrostatischen Spannungen im Span von C45 führen oder eine KSS-Verdampfung bei der Bearbeitung von Inconel 718 verhindern kann.

Abstract

Cooling lubricants affect the chip formation process based on three main mechanisms of action: cooling, lubrication and hydrodynamic force resulting in chip removal transport. The objective is to enhance the overall machinability of the process, to extend the tool life, and to improve the quality of the workpiece. However, these aims are not fully achieved. Instead, they depend on a complex, highly non-linear interaction of the main mechanisms of action with the chip formation process.

To provide a numerical method for process analysis alongside with the measurement and analytical methods, this dissertation aims to develop, verify and apply a simulation model of machining considering a cooling lubricant. In particular, the fluid-structure-interaction during dynamic chip formation poses fundamental challenges for many simulation methods. The Finite-Pointset-Method (FPM), which has been specifically developed for complex fluid-structure-interactions, is employed as a solution approach.

For this purpose, the initial step is to enhance the accuracy of the FPM in describing chip formation by further developing the material mechanical fundamentals and developing a model of dry chip formation, which is subsequently evaluated based on a series of experiments. In order to determine the cooling lubricant boundary conditions for the simulation model, measurement-based and simulation-based analyses of the cooling lubricant flow in the machining area are carried out. Furthermore, the three main mechanisms of action are characterized, modelled and verified by means of analogy experiments. This knowledge is subsequently used to develop a comprehensive simulation model of cutting using a cooling lubricant.

The evaluation is carried out in an extensive series of machining experiments, which demonstrate that the simulation model reproduces cooling lubricant related effects. Finally, the advantages of the numerical approach are highlighted by analyzing an orthogonal turning process involving a cooling lubricant for the materials C45 and Inconel 718. For this purpose, the stress and temperature fields in the chip are evaluated, providing in-depth insights into the cutting process with cooling lubricants. Among other things, the results indicate that high-pressure cooling can reduce hydrostatic stresses during cutting C45 or prevent cooling lubricant evaporation during cutting Inconel 718.