

1 Einleitung

Das Wälzfräsen ist ein etabliertes Verfahren für die Zahnradfertigung, welches breite Anwendung in der Windkraft-, Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie sowie in generellen Bereichen des Maschinenbaus findet [KARP14]. Aufgrund des unterbrochenen Schnitts und der charakteristischen Prozesskinematik ist das Wälzfräsen durch eine diskontinuierliche Spanbildung und ein heterogenes Belastungskollektiv geprägt [KLOC17]. Zur Bewertung der Werkzeugbelastung und der Interpretation des Verschleißverhaltens werden insbesondere geometrische Spanungskenngrößen herangezogen, welche in der Regel mit einer geometrischen Durchdringungsrechnung bestimmt werden [MUND92, WINK05, SCHA12, SARI16]. Der Nachteil der rein geometrischen Betrachtungsweise liegt in der unzureichenden Beschreibung der Kontaktbedingungen zwischen Werkzeug und Werkstück. So haben Werkstoff, Schneidstoff, Schnittgeschwindigkeit, Schneidkantenform sowie Span- und Freiwinkel zwar einen wesentlichen Einfluss auf den Werkzeugverschleiß, beeinflussen aber nicht die geometrischen Durchdringungsverhältnisse.

Zur Berücksichtigung des tribologischen Kontaktes sowie der Schneidkantenform sind Kontinuum-Methoden wie die Finite-Elemente-Methode (FEM) etabliert [KLOC08]. Mittels der FEM sind physikalische Prozess- und Zustandsgrößen, wie beispielsweise Spannungen, Temperaturen, Kräfte und Wärmeströme, orts- und zeitaufgelöst ermittelbar. Den Vorteilen der FEM stehen jedoch hohe Rechenzeiten, die Notwendigkeit validierter Material- und Kontaktmodelle sowie ein hoher Aufwand bei der Modellerstellung gegenüber, was einen anwendungsgerechten Einsatz erschwert. Zudem ist eine Modellierung und Simulation des Wälzfräsprozesses mittels FEM besonders anspruchsvoll, da in jeder Wälzstellung unterschiedliche Spannungsgeometrien und folglich unterschiedliche Belastungen vorliegen. Zur Berücksichtigung des Belastungskollektivs des gesamten Prozesses müssten alle Wälzstellungen simuliert werden, was den Simulationsaufwand exponentiell erhöhen würde.

Während die Spanbildung auf einer mikroskopischen Ebene stattfindet, liegt der Fertigungsprozess auf einer makroskopischen Ebene vor [PULS15]. Zur effizienten Ermittlung des beim Wälzfräsen vorliegenden Belastungskollektivs bietet sich eine Kopplung der beiden Skalen auf Basis der Mehrskalenmodellierung an. Detaillierte Analysen hinsichtlich einer mehrskaligen Simulation beim Wälzfräsen sowie deren Eignung zur Berechnung des thermomechanischen Belastungskollektivs wurden bisher nicht durchgeführt. In dieser Arbeit wird ein Mehrskalenmodell zur Prognose der thermomechanischen Werkzeugbelastung beim Wälzfräsen entwickelt. Das Modell kombiniert die Spanungs- und Prozesskenngrößen aus einer ebenenbasierten Durchdringungsrechnung (Makroskala) mit thermomechanischen Belastungs- und Zustandsgrößen aus FE-Simulationen des Orthogonalschnitts (Mikroskala). Durch die Mehrskalenmodellierung wird eine zeiteffiziente Abschätzung der lokal und zeitlich aufgelösten thermomechanischen Belastung des Werkzeugs für jede Wälzstellung ermöglicht und die Werkzeug- und Prozessauslegung unterstützt.

Introduction

Gear hobbing is an established process for gear manufacturing, which is widely used in wind power, automotive, aerospace and general mechanical engineering industries [KARP14]. Due to the interrupted cut and the characteristic process kinematics, gear hobbing is characterized by discontinuous chip formation and a heterogeneous load collective [KLOC17]. For the evaluation of the tool load and the interpretation of the wear behavior, geometric chip characteristics, which are usually determined with a penetration calculation, are used in particular [MUND92, WINK05, SCHA12, SARI16]. The disadvantage of the purely geometrical approach is the insufficient description of the contact conditions between tool and workpiece. Workpiece and cutting material, cutting speed, cutting edge shape as well as rake and clearance angle have a major influence on the tool wear, but do not affect geometric penetration conditions.

To consider the tribological contact and the shape of the cutting edge, continuum methods such as the Finite Element Method (FEM) have been established [KLOC08]. By means of FEM, physical process and state variables, such as stresses, temperatures, forces and heat flows, can be determined with spatial and time resolution. However, the advantages of the FEM are offset by high computation times, the need for validated material and contact models, and a high level of effort in model generation, which makes an application-oriented use difficult. In addition, modeling and simulating the hobbing process using FEM is particularly demanding, since different chip geometries and consequently different loads are present in each generating position. To take the load collective of the entire process into account, all generating positions would have to be simulated, which would exponentially increase the simulation effort.

While the chip formation takes place on a microscopic level, the manufacturing process is present on a macroscopic level [PULS15]. For the efficient determination of the load collective in hobbing, a combination of the two scales based on a multiscale approach seems appropriate. Detailed analyses regarding a multiscale simulation in hobbing and its suitability for the calculation of the thermomechanical load have not yet been investigated. In the present work, a multiscale model is developed for the prediction of thermomechanical tool load in gear hobbing. The model combines the chip and process characteristics from a geometric penetration calculation (macroscale) with thermomechanical load and state variables from FE-simulations of the orthogonal cut (microscale). The multi-scale modeling enables a time-efficient estimation of the spatially and temporally resolved thermomechanical load of the tool for each generating position and thus supports systematic tool and process design.