

# 1 Introduction

## *Einleitung*

In recent years, various industries have experienced the effects of increasing public awareness of man-made climate change. Particularly in the aerospace and automotive sectors, this has led to a paradigm shift towards greater environmental sustainability, which is additionally being accelerated by changes in legislation. Hence, conventional structural materials have increasingly been replaced by high-strength and lightweight materials in order to reduce greenhouse gas emissions. While nickel and titanium materials as well as composites have been gaining importance in aerospace due to this reason for years [ZHAN18, pp. 31–32], high-strength steels now dominate the materials used for lightweight body construction in the automotive industry [MODI19, p. 7].

The change in structural materials is accompanied by a change in the cutting materials used for machining of these [EZUG03, pp. 238–241]. Due to the increasing requirements with regard to machinability and productivity in the machining of novel materials with geometrically defined cutting edges, the demand for superhard cutting materials is increasing. Especially in the segment of indexable inserts, DEDALUS CONSULTING forecasts the highest annual growth rates of up to 10.8 % until 2025 for cutting materials based on diamond and cubic boron nitride (cBN) [DEDA21]. The increasing interest in superhard cutting materials is due to their high wear resistance combined with high productivity. Therefore, inserts made of polycrystalline cubic boron nitride (pcBN) are increasingly used for turning operations on ferrous materials, since pcBN is subject to lower diffusive wear than monocrystalline and polycrystalline diamond (MCD and PCD) due to the carbon affinity of iron.

PcBN is a synthetic multiphase cutting material consisting of cBN grains and a matrix of mostly different ceramic and metallic materials. Due to the physical properties of the cBN grains and the components of the matrix, the production of workpieces from pcBN is costly and time-demanding. For the production of cutting tools from pcBN, grinding, laser ablation and wire erosion are commonly known as potentially suitable manufacturing technologies. In the case of mechanical material removal by grinding, the mechanical properties of pcBN result in low productivity and high grinding wheel wear. As a result of intensified research, significant progress has already been achieved for plunge face grinding in recent years with regard to the productive grinding of pcBN inserts [BEHR16]. However, existing approaches to analyze the cause-effect-relationships in pcBN grinding have not considered thermal loads between the pcBN workpiece and the grinding wheel yet. Since the thermal loads during grinding can cause damage to the workpiece and the grinding wheel, the determination of these loads is key for a knowledge-based process design. Furthermore, only the track-bound plunge face grinding of pcBN has been considered in research so far, resulting in a lack of knowledge on track-bound longitudinal face grinding and force-controlled plunge face grinding of pcBN.

Therefore, this thesis involves expanding the existing knowledge on grinding of pcBN with respect to the mechanical and thermal loads in the contact zone between the

pcBN workpiece and the grinding wheel, as well as closing the knowledge gap on the process variants of track-bound longitudinal face grinding and force-controlled plunge face grinding of pcBN. Hence, the analysis and modeling of the basic tribological conditions of the frictional contact between diamond and pcBN as well as the characterization of the thermal and mechanical loads during track-bound longitudinal face grinding as well as force-controlled plunge face grinding of pcBN are the subject of this work. In order to derive process design recommendations for industrial applications, the resulting material removal and grinding wheel wear mechanisms are analyzed and explained based on the thermal and mechanical loads.

## Einleitung

In den vergangenen Jahren erlebten viele unterschiedliche Industriezweige die Auswirkungen des zunehmenden Bewusstseins der Bevölkerung für den menschengemachten Klimawandel. Insbesondere in der Luft- und Raumfahrt sowie im Automobilbau führte dies zu einem Paradigmenwechsel hin zu mehr ökologischer Nachhaltigkeit, die zusätzlich durch eine veränderte Gesetzgebung beschleunigt wird. So wurden in den vergangenen Jahrzehnten zunehmend konventionelle Konstruktionswerkstoffe durch hochfeste und leichte Werkstoffe substituiert, um die Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren. Während Nickel- und Titanwerkstoffe sowie Composites in der Luft- und Raumfahrt aus diesem Grund seit Jahren an Bedeutung gewinnen [ZHAN18, S. 31–32], dominieren hochfeste Stähle inzwischen die für den Karosserie-Leichtbau verwendeten Werkstoffe [MODI19, S. 7].

Der Wandel der Konstruktionswerkstoffe geht mit einer Veränderung der für die Zerspanung dieser Werkstoffe verwendeten Schneidstoffe einher [EZUG03, S. 238–241]. Durch die steigenden Anforderungen hinsichtlich der Zerspanbarkeit und der Produktivität bei der Zerspanung neuartiger Werkstoffe mit geometrisch bestimmter Schneide steigt die Nachfrage nach hochharten Schneidstoffen. Insbesondere im Segment der Wendeschneidplatten prognostiziert DEDALUS CONSULTING die höchsten jährlichen Wachstumsraten von bis zu 10,8 % bis zum Jahr 2025 für die auf Diamant und kubischem Bornitrid (cBN) basierenden Schneidstoffe [DEDA21]. Das steigende Interesse an hochharten Schneidstoffen wird durch den geringen Verschleiß bei gleichzeitig hoher Produktivität begründet. Für die Drehbearbeitung von eisenhaltigen Werkstoffen werden daher zunehmend Wendeschneidplatten aus polykristallinem kubischem Bornitrid (pcBN) eingesetzt, da pcBN im Gegensatz zu mono- und polykristallinem Diamant (MKD und PKD) aufgrund der Kohlenstoffaffinität von Eisen einem geringeren Diffusionsverschleiß unterliegt.

PcBN ist ein synthetischer mehrphasiger Schneidstoff bestehend aus cBN Körnern und einer Matrix aus meist unterschiedlichen keramischen und metallischen Stoffen. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften der cBN Körner und der Komponenten der Matrix ist die Fertigung von Bauteilen aus pcBN kosten- und zeitintensiv. Für die Fertigung von Zerspanwerkzeugen aus pcBN sind das Schleifen, die Laserablation und das Drahterodieren als potenziell geeignete Fertigungsverfahren bekannt. Bei der mechanischen Materialtrennung durch das Schleifen resultieren die mechanischen Eigenschaften des pcBN in einer geringen Produktivität und einem hohen Schleifscheibenverschleiß. Durch eine intensiviertere Forschung konnten für das Quer-Seiten-Planschleifen in den vergangenen Jahren bereits deutliche Fortschritte hinsichtlich der produktiven Zerspanung von pcBN erreicht werden [BEHR16]. Jedoch wurden in bestehenden Ansätzen zur Analyse der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge beim Schleifen von pcBN bislang keine thermischen Lasten zwischen dem pcBN Werkstück und der Schleifscheibe berücksichtigt. Da die thermischen Lasten beim Schleifen zu werkstück- und schleifscheibenseitigen Schäden führen können, ist die Bestimmung dieser Lasten eine Voraussetzung für eine wissensbasierte Prozessauslegung. Zusätzlich wurde bislang ausschließlich das bahngebundene Quer-Seiten-Planschleifen von

pcBN betrachtet, so dass keine Erkenntnisse zum bahngelundenen Längs-Seiten-Planschleifen und zum kraftgelundenen Quer-Seiten-Planschleifen von pcBN existieren.

Diese Dissertation beinhaltet daher eine Erweiterung des bestehenden Wissens zum Schleifen von pcBN hinsichtlich der mechanischen und thermischen Lasten in der Kontaktzone zwischen dem pcBN Werkstück und der Schleifscheibe sowie die Schließung der Wissenslücke zu den Verfahrensvarianten des bahngelundenen Längs-Seiten-Planschleifens und kraftgelundenen Quer-Seiten-Planschleifens von pcBN. Daher sind die Analyse und Modellierung der grundlegenden tribologischen Bedingungen des Reibkontakts zwischen Diamant und pcBN und die Charakterisierung der thermischen und mechanischen Lasten beim bahngelundenen Längs-Seiten-Planschleifen sowie beim kraftgelundenen Quer-Seiten-Planschleifen von pcBN Gegenstand dieser Arbeit. Zur Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Prozessauslegung in der industriellen Praxis werden basierend auf den thermischen und mechanischen Lasten die resultierenden Zerspanungs- und Schleifscheibenverschleimechanismen analysiert und erklärt.