



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology



**Institut für Fertigungstechnik und
Hochleistungslasertechnik**
Getreidemarkt 9/BA/OG 8
A-1060 Wien
<http://www.ift.at>

KIT-Fakultät für Maschinenbau
Promotionsausschuss
Prof. Dr.-Ing. Bettina Frohnepfel

Kaiserstraße 12, Geb. 10.91
D-76131 Karlsruhe

**Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.
Friedrich Bleicher**
Institutsvorstand
T +43 1 58801 31101
F +43 1 58801 931101
M +43 664 1319424
E bleicher@ift.at

Ihr Zeichen / Ihre Nachricht vom
#1641 / 16. Juli 2018

unser Zeichen

unser Bearbeiter / Nebenstelle
Bleicher / 31100

Datum
12.09.2018

Gutachten zur Dissertation

„Entwicklung und Analyse eines mechanischen Oberflächenbehandlungsverfahrens unter
Verwendung des Zerspanwerkzeuges“

vorgelegt von Dipl.-Ing. Michael Gerstenmeyer

Zielstellung

In den heute zur Anwendung gebrachten industriellen Produktionsprozessen nimmt die spanende Bearbeitung unverändert eine bedeutende Rolle ein. Dabei ist die spanende Formgebung in komplexe Prozessketten eingebettet und stellt oftmals den finalen Fertigungsschritt zur geometrischen Definition insbesondere metallischer Werkstücke dar. Aus Gesichtspunkten der Gesamteffizienz im Produktlebenszyklus erfolgt die Dimensionierung metallischer Bauteile zusehends nach Gesichtspunkten der Gewichtsreduktion und verfolgt eine auf das Lastkollektiv eng angepasst Optimierung. Ein wesentlicher Aspekt dabei ist auch die Ausnutzung der Werkstoffe, wobei die statischen und dynamischen Festigkeitseigenschaften möglichst ausgeschöpft werden. Dies eröffnet die Möglichkeiten, auf Werkstoffe geringerer Festigkeit zurückzugreifen oder eben den oben genannten Leichtbau forciert zur Anwendung zu bringen. Für die fertigungstechnische Forschung resultiert hieraus die Zielsetzung, Fertigungsverfahren zur definierten Beeinflussung der Materialeigenschaften zu entwickeln. Von besonderem Interesse ist dabei die Gestaltung von Oberflächen hinsichtlich der tribologischen und mechanischen Eigenschaften. Die definierte Ausprägung der Bauteilrandschicht, deren Topographie, Verfestigung und Eigenspannungszustand, gilt aktuell als Schwerpunkt von Forschungsaktivitäten. Hierfür stehen thermische, mechanische und kombinierte thermo-mechanische Oberflächenbehandlungsverfahren zur Verfügung.

Die Entwicklung von leistungsfähigen, jedoch kosteneffizienten Wertschöpfungsketten erfordert die Optimierung der einzelnen Fertigungsverfahren oder die Verkürzung der

Prozessketten. Die von Herrn Dipl.-Ing. Gerstenmeyer vorgelegte Dissertation verfolgt das Ziel, den Prozess zur Oberflächenbehandlung in einen vorhergehenden Fertigungsschritt zu integrieren. Herr Gerstenmeyer fokussiert in seiner Arbeit auf den Zerspanungsprozess, im Speziellen auf das Verfahren des Drehens, um im Zuge der spanenden Formgebung gewünschte Randzoneneigenschaften für geeignete statische und dynamische Fähigkeiten metallischer Bauteile zu erreichen. Er schlägt dafür den gezielten Einsatz des Drehwerkzeuges vor, indem er eine „Umkehr“ der Drehoperation realisiert und eine hierfür angepasste Schneidkantenmikrogeometrie verwendet. Herr Dipl.-Ing. Gerstenmeyer verfolgt damit den Ansatz, die spanende Formgebung und die anschließende mechanische Oberflächenbehandlung zu kombinieren, indem er in der gleichen Spannlage mit dem Drehwerkzeug in entgegengesetzter Bearbeitungsrichtung mit der Freifläche über die erzeugte Oberfläche (bei geringer Zustellung) verfährt. Damit wird durch das Zerspanungswerkzeug eine plastische Verformung induziert, wodurch Oberflächeneigenschaften gezielt beeinflusst werden können; es wird diese Prozesskombination als Komplementärzerspanung bezeichnet.

Wissenschaftlicher Inhalt

In Kapitel 1 führt Herr Gerstenmeyer in das Thema der Oberflächenbehandlung von metallischen Werkstücken ein und verweist auf den Einsatz von mechanischen, thermischen und thermisch-mechanischen Verfahren. Er beleuchtet dabei die Gestaltung der Prozessketten und skizziert die Bedeutung der gezielten Beeinflussung der Bauteilrandschichten hinsichtlich der Topographie, der Verfestigung und des Eigenspannungszustands. Daran lässt Herr Dipl.-Ing. Gerstenmeyer in Kapitel 2 einen inhaltlich ausführlichen und sorgfältig recherchierten Überblick über den Stand der Technik und der Forschung zur mechanischen Oberflächenbehandlung anschließen. Er thematisiert insbesondere die Eigenschaften der Verfahren und zeigt eine Klassifizierung der Verfahren nach der Verformungsgeschwindigkeit und der Art der prozesstechnischen Umsetzung. In diesem Überblick fasst er auch die bekannten Verfahren zusammen, wie Kugelstrahlen, Machine-Hammer-Peening und Festwalzen sowie Glätten. Der Kandidat zeigt dabei auch den Stand der Technik zu der in die Zerspanung integrierten mechanischen Oberflächenbehandlung auf. In diesem Zusammenhang weist Herr Gerstenmeyer auf den Einfluss der Schneidkantenmikrogeometrie hin und geht auf die Werkzeuggeometrie und die Gestaltung der Schneidkante und deren geometrische Charakterisierung ein. Ergänzend dazu führt Herr Gerstenmeyer den Qualitätsbezug zu Bauteilzuständen aus. Er stellt dar, dass die Bauteilzustände durch die unterschiedlichen mechanischen Verfahren spezifisch realisiert werden und Einflüsse auf die Rauheit, Verfestigung, Mikrostruktur und Eigenspannungen durch die jeweilige elastisch-plastische Verformung verfahrensabhängig ausfallen. Herr Gerstenmeyer führt dabei auch aus, dass schon der Zerspanungsvorgang insbesondere durch die Mikrogeometrie der Schneide einen entscheidenden Einfluss auf die Oberflächeneigenschaften ausübt und in Wechselwirkung mit der Mikrogeometrie und dem Werkzeugverschleiß steht. Ergänzend beschreibt Herr Gerstenmeyer den Einfluss der Bauteilzustände auf die Schwingfestigkeit. In diesem Kapitel behandelt der Kandidat auch die FEM-Prozesssimulation insbesondere in der Modellierung des Werkstoffverhaltens (Hochdynamik), der Spanbildung und der mechanischen Oberflächenbehandlung.

In Kapitel 3 führt Herr Gerstenmeyer die Zielsetzung seiner Arbeit aus und fasst die Vorgehensweise bzw. Schwerpunkte seiner wissenschaftlichen Tätigkeit zusammen. Er hebt dabei die experimentelle Untersuchung in Kombination mit der FEM-Simulation hervor, zumal

damit schwer zu ermittelnde Prozesskenngrößen abgebildet werden können. Daran lässt Herr Dipl.-Ing. Gerstenmeyer in Kapitel 4 die ausführliche Beschreibung der Grundlagenversuche in Form des Orthogonalschnitts zu den Werkstoffen Armeco-Eisen, technisch reines Eisen, und dem Vergütungsstahl 42CrMo4 anschließen. Herr Gerstenmeyer konzipiert in diesem Kapitel die experimentelle Analyse des Zerspanungsvorgangs und beschreibt sorgfältig die eingesetzten Versuchsaufbauten und Testwerkzeuge. Er führt ergänzend auch die Analysemethoden an.

In Kapitel 5 folgt nun eine detaillierte Abhandlung zur Entwicklung einer FEM-Simulation der mechanischen Oberflächenbehandlung. Herr Gerstenmeyer verwendet für die Zerspanungssimulation Abaqus/Standard mit kontinuierlicher Vernetzung. Für die Modellierung der mechanischen Oberflächenbehandlung erstellt der Kandidat eine 3D-FEM-Simulation, in der aufgrund der vergleichsweise geringen Deformation und damit geringen Elementverzerrung auf die Neuvernetzung verzichtet werden kann. Die Werkstoffmodellierung erfolgt in Anlehnung an die Zerspanungssimulation.

Im folgenden Kapitel 6 widmet sich Herr Gerstenmeyer intensiv der experimentellen Untersuchung der Komplementärbearbeitung am Beispiel der orthogonalen Zerspanung. Er verwendet dafür zunächst symmetrische Schneidkanten und variiert die Prozessparameter wie die Bearbeitungsgeschwindigkeit, die Bearbeitungstiefe und Werkzeugorientierung. Anschließend untersucht der Kandidat die Wirkung von asymmetrischen Schneidkanten und zeigt den Einfluss auf die Topographie, Mikrohärtigkeit, Mikrostruktur und Eigenspannung in den Testwerkstoffen nach. Er behandelt insbesondere den Einfluss der Werkzeuggeometrie bei der Komplementärzerspannung bezüglich der Wirkung auf die Prozesskenngrößen und des Werkzeugverschleißes. Herr Dipl.-Ing. Gerstenmeyer kombiniert in diesem Kapitel die experimentellen Untersuchungen mit den Prozessanalysen auf Basis der FEM-Modellierung. Es kann damit der Einfluss des Werkzeugs bei der Komplementärzerspannung detailliert dargestellt werden, indem er die Umformzone während der mechanischen Oberflächenbehandlung in fünf Zonen einteilt. Diese Einteilung leitet er von den lokal wirkenden Dehnraten ab (bis $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^4$). Hier kommt Herr Dipl.-Ing. Gerstenmeyer auch zum Kern seiner wissenschaftlichen Arbeit und identifiziert geeignete Schneidkantenmikrogeometrien und behandelt auch die geometrische Veränderung an der Schneidkante bedingt durch den Werkzeugverschleiß. In der Folge zeigt er den Einfluss der Prozessstellgrößen auf die Randschichtzustände auf Basis der Kriterien der resultierenden Oberflächen-Topographie, der Mikrohärtigkeit, der Mikrostruktur mit Kornfeinung in den Randschichten und den resultierenden Eigenspannungen. Besonderes Augenmerk liegt dabei neben der Analyse der Randschichtzustände vor allem auch auf der Analyse des auf das Werkzeug wirkenden thermo-mechanischen Lastkollektivs.

In Kapitel 7 nutzt Herr Gerstenmeyer nun diese Erkenntnisse aus den vorherigen Untersuchungen bzw. zur Modellbildung und führt diese auf den Einsatz in der Komplementärzerspannung in der Außenlängsdrehbearbeitung über. Dabei schränkt er sich auf die Anwendung des Werkstoffs 42CrMo4 ein und bearbeitet letztlich rotationssymmetrische Probekörper für die Untersuchung der Schwingfestigkeit. Herr Dipl.-Ing. Gerstenmeyer kann dabei zeigen, dass die resultierenden Eigenspannungen nach der Zerspanung im Druckspannungsbereich zu liegen kommen und durch die Komplementärzerspannung in günstige Zugeigenspannungen bis zu 1.200 MPa in axialer Richtung gewandelt werden können. Anschließend fasst der Kandidat die Ergebnisse von Schwingfestigkeitsversuchen auf Basis des zyklischen axialen Zug-Druck-Versuches mit Proben nach der Zerspanung und nach der Komplementärzerspannung zusammen. Die Ergebnisse wurden in Wöhlerkurven nach der arcsin-

\sqrt{P} -Methode ausgewertet. Der Kandidat zeigt dabei die günstigen Eigenschaften der Proben nach der Komplementärzerspannung auf und er vergleicht dieses Ergebnis mit weiteren mechanischen Oberflächenbehandlungsverfahren. Es zeigt sich, dass insbesondere geringe Bearbeitungsgeschwindigkeiten und Schneidkantenmikrogeometrien mit einem Form-Faktor $K \geq 1$ günstige Randzoneneigenschaften bewirken. Durch den Einsatz der Nassbearbeitung konnte der Werkzeugverschleiß positiv beeinflusst werden, wobei damit auch das thermo-mechanische Lastkollektiv für die Kaltverfestigung und Kornfeinung begünstigt wird. Durch die Analyse der resultierenden Randzonen kann Herr Gerstenmeyer zeigen, dass die Rauheit auf vergleichbarem Niveau zum Kugelstrahlen zu liegen kommt und der Eigenspannungszustand jenem nach dem Festwalzen ähnlich ist. Er kann auch eine Kornfeinung nachweisen, welche zusammen mit den oben genannten Effekten in einer signifikanten Verbesserung der Schwingfestigkeit - vergleichbar den Proben nach dem Kugelstrahlen - resultieren.

Die Zusammenfassung in Kapitel 8 mit Ausblick auf weiterführende Entwicklungsansätze und ergänzende experimentelle Arbeiten schließt die Arbeit und rundet die Gesamtbetrachtung ab. Herrn Dipl.-Ing. Gerstenmeyer gelingt es, durch den Einsatz der Komplementärbearbeitung in der Zerspanung auf Basis der Orthogonal- und Außenlängsdrehoperation die Möglichkeiten zur Randzonenbeeinflussung aufzuzeigen und den günstigen Einfluss auf das Werkstoffverhalten bei zeitliche veränderlicher Bauteilbelastung detailliert zu analysieren und nachzuweisen. Gesamtheitlich betrachtet zeigt Herr Gerstenmeyer, dass auf Basis seiner Erkenntnisse zur Komplementärzerspannung bei entsprechender Gestaltung der Schneidkanten-Makro- und -Mikro-Geometrie die Prozesskräfte und der Werkzeugverschleiß beherrscht werden können. Die von Herrn Gerstenmeyer vorgelegte Arbeit liefert einen wertvollen Beitrag zu einer bedeutenden Steigerung der ökonomischen Effizienz und des Ressourceneinsatzes in Wertschöpfungsketten zur Herstellung von metallischen Bauteilen.

Form und Ausdruck, Gesamteindruck

Herr Dipl.-Ing. Gerstenmeyer hat mit der vorgelegten Arbeit gezeigt, dass er es versteht, selbständig wissenschaftlich und mit systematischer Vorgehensweise zu arbeiten. Die Dissertation überzeugt durch einen strukturierten Aufbau und durch eine sorgfältige Darlegung der für die Entwicklung der Arbeit relevanten Methoden. Die Ergebnisse sind in eindrucksvoller Art durch klare textliche Beschreibung und sehr anschauliche Abbildungen dargelegt. Die Arbeit besticht durch eine flüssige Formulierung in den fachlichen Ausführungen, womit eine leichte Lesbarkeit verbunden ist. Der gewählte inhaltliche Aufbau mit kurzen Zusammenfassungen zum Abschluss einzelner Kapitel erweist sich für den Leser als eine angenehme Möglichkeit zur Reflexion von Inhalten. Den Anforderungen an eine Dissertation in Form und Ausdruck wird die vorgelegte Arbeit in jeder Hinsicht und in hervorragender Umsetzung gerecht.

Herr Dipl.-Ing. Gerstenmeyer hat mit seiner Dissertation einen wissenschaftlich äußerst wertvollen Beitrag geleistet, welcher sich speziell durch die Entwicklung einer kombinierten Bearbeitungsmethode bei der Drehbearbeitung darstellt. Für die Praxis bedeuten diese Erkenntnisse einen außerordentlich interessanten Wissensgewinn zur Effizienzsteigerung von Zerspanungsprozessen. Herr Gerstenmeyer hat seiner Arbeit auch einen umfassenden Überblick über aktuelle Publikationen zum gegenständlichen Thema beigelegt.

Bewertung

Zusammenfassend empfehle ich daher der Fakultät für Maschinenbau des Karlsruher Institut für Technologie die Annahme der vorgelegten Arbeit und beurteile diese mit dem Kalkül: „gut bis sehr gut (1,5)“. Herr Dipl.-Ing. Michael Gerstenmeyer ist aus Sicht des Unterzeichneten damit zur Weiterführung seines Dissertationsverfahrens zuzulassen.

Wien, den 12.09.2018

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Friedrich Bleicher
Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik
Technische Universität Wien