

Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Benedict Stampfer

**Entwicklung eines multimodalen Prozess-
modells zur Oberflächenkonditionierung
beim Außenlängsdrehen von 42CrMo4**

Band 264



Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Benedict Stampfer

**Entwicklung eines multimodalen Prozessmodells
zur Oberflächenkonditionierung beim
Außenlängsdrehen von 42CrMo4**

Band 264

**Entwicklung eines multimodalen Prozessmodells zur
Oberflächenkonditionierung beim Außenlängsdrehen
von 42CrMo4**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

von der KIT-Fakultät für Maschinenbau des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

angenommene

Dissertation

von

Benedict Stampfer, M.Sc.
aus Heidelberg

Tag der mündlichen Prüfung 6. Dezember 2022

Hauptreferent

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Korreferent

Assistant Professor Dr. Julius Schoop

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2022

Copyright Shaker Verlag 2023

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8933-2

ISSN 0724-4967

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Die schnelle und effiziente Umsetzung innovativer Technologien wird vor dem Hintergrund der Globalisierung der Wirtschaft der entscheidende Wirtschaftsfaktor für produzierende Unternehmen. Universitäten können als "Wertschöpfungspartner" einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der Industrie leisten, indem sie wissenschaftliche Grundlagen sowie neue Methoden und Technologien erarbeiten und aktiv den Umsetzungsprozess in die praktische Anwendung unterstützen.

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen dieser Schriftenreihe über aktuelle Forschungsergebnisse des Instituts für Produktionstechnik (wbk) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) berichtet. Unsere Forschungsarbeiten beschäftigen sich sowohl mit der Leistungssteigerung von additiven und subtraktiven Fertigungsverfahren, den Produktionsanlagen und der Prozessautomatisierung sowie mit der ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung der Produktionssysteme und -netzwerke. Hierbei werden jeweils technologische wie auch organisatorische Aspekte betrachtet.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Vorwort des Verfassers

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am wbk Institut für Produktionstechnik im Rahmen des DFG Forschungsprojekts „Prozess-integrierte Softsensorik zur Oberflächenkonditionierung beim Außenlängsdrehen von 42CrMo4“.

Ich danke Volker Schulze für die wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit sowie die persönliche und fachliche Unterstützung während meiner Zeit am wbk. Weiterhin möchte ich Julius Schoop für das Interesse an dieser Arbeit und die Übernahme des Korreferats danken.

Ich danke weiterhin meinen Kollegen am wbk für die stets produktive und freundliche Atmosphäre sowie den wissenschaftlichen Austausch. Den Bürokollegen und -nachbarn in meiner Zeit am wbk, Michael Gerstenmeyer, Jannik Schwalm, Eric Segebade, Florian Sauer und Germán González, möchte ich für die anregenden Diskussionen und lustigen Stunden danken. Für die Fertigung von Proben und Aufbauten und die unkomplizierte, tatkräftige Unterstützung möchte ich Thomas Hildenbrand, Harald Frank sowie Ralf Dorsner und dem gesamten Werkstattteam danken. Für die Unterstützung bei IT-Fragen danke ich der gesamten IT-Abteilung, im Speziellen Margit Scheidt. Ich danke weiterhin allen Studierenden, die im Rahmen von Abschlussarbeiten oder Hiwi-Stellen bei mir tätig waren. Bei Daniel Gauder und David Böttger möchte ich mich für die hervorragende fachliche und freundschaftliche Zusammenarbeit im Rahmen des Forschungsprojekts bedanken.

Ich möchte weiterhin meinen Eltern für die Unterstützung und den lebenslangen Rückhalt danken. Mein abschließender Dank gilt meiner Frau Uta. Ohne Dich wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Heidelberg, Dezember 2022

Benedict Stampfer

Abstract

The goal of the thesis is the identification of analytical process models for the prediction and adjustment of surface states in order to enable the controlled turning of AISI 4140. The surface states aimed at are a low surface roughness, mechanically induced nano-crystalline white layers and compressive residual stresses. The regarded process parameters and thus model inputs are the cutting velocity, the feed, the depth of cut, dry and emulsion cutting, the tempering state of the workpiece, the tool corner radius and the tool wear. The surface topography is quantified by the roughness R_z , while the surface work hardening and the microstructural state are quantified by the increase of the Vickers hardness HV 0,005 in the specimen cross section. Furthermore, the axial and the tangential normal components of the workpiece stress tensor are analyzed. Not only the surface values are modeled, but also the minimum stress values and the in-depth range of the stresses. The high measurement costs and the complex generation mechanisms motivate the simulation of workpiece residual stresses by the Finite Element Method, which is presented as well. The developed Finite Element model is based on thermomechanical loads, which act on the workpiece and represent the tool engagement and the chip formation. The FE-Simulation permits to understand and confirms trends of the empirical-analytical residual stress models. Thereby robust model dependencies are identified, which paves the ground for the adjustment and control of the turning process.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungen und Formelzeichen	III
1 Einleitung	1
2 Stand der Forschung	3
2.1 Außenlängsdrehen	3
2.2 Oberflächenkonditionierung von Stahl	5
2.2.1 Randschichtmodifikationen	6
2.2.2 Beeinflussung von Bauteileigenschaften durch Randschichtzustände	11
2.2.3 Machine Learning Modelle für Zerspanungsprozesse	15
2.2.4 Modellierung und Simulation von Eigenspannungen	17
2.2.5 Zwischenfazit	21
3 Zielsetzung und Eigener Ansatz	22
3.1 Zielsetzung und Vorgehen	22
3.2 Versuchsaufbau und Werkstückmaterial	23
3.3 Experimentelle Analyse	27
3.3.1 Rauheitsmessung	27
3.3.2 Mikrohärtigkeit und Schlibfbilder	27
3.3.3 Eigenspannungsmessung	29
3.4 Machine Learning Modelle	30
3.5 FE-Simulation von Eigenspannungen	31
4 Ergebnisse	41
4.1 Experimentelle Analyse	41
4.1.1 Prozesskenngrößen	41
4.1.2 Randschichtzustände	44
4.2 Machine Learning Modelle	54
4.2.1 Prozesskräfte	54
4.2.2 Rauheit	62

4.2.3	Härteanstieg	64
4.2.4	Eigenspannungen	71
4.3	FE-Simulation von Eigenspannungen	80
5	Bewertung	93
6	Zusammenfassung und Ausblick	99
6.1	Zusammenfassung	99
6.2	Ausblick	100
7	Literaturverzeichnis	I
	Liste eigener Publikationen	XIII
	Werdegang	XV
	Abbildungsverzeichnis	XVI
	Tabellenverzeichnis	XXI
	Anhang	XXIII
	Datenblätter Material und Versuchsaufbau	XXIII
	Materialparameter von 42CrMo4 für die FE-Simulation	XXV
	Parameter analytischer Prozessmodelle	XXVI