TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Mihir Joshi

Development of semi-actively damped milling chuck for chatter reduction in high dynamic milling

Schriftenreihe des PTW
„Innovation Fertigungstechnik“

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich
Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold

PTW
TU DARMSTADT
Institut für
Produktionsmanagement,
Technologie und
Werkzeugmaschinen

Development of semi-actively damped milling chuck for chatter reduction in high dynamic milling

Dem Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
eingereichte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von

Mihir Joshi. M. Sc.
aus Mumbai, Indien

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. E. Abele
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. R. Anderl
Tag der Einreichung:	24.01.2022
Tag der mündlichen Prüfung:	31.05.2022

D17

Schriftenreihe des PTW: "Innovation Fertigungstechnik"

Mihir Joshi

Development of semi-actively damped milling chuck for chatter reduction in high dynamic milling

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Düren 2023

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2022

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8878-6
ISSN 1864-2179

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Contents

List of Figures

List of Tables

Greek letters and other symbols

Variable	Unit	Description
A_{sp}	mm^2	uncut chip cross-section
$\mathbf{C}$	-	damping matrix
D	-	damping co-efficient according to LEHR
D_{opt}	-	optimal damping ratio
E	-	modulus of elasticity
F	N	force
$F(\omega)$	-	force matrix in frequency domain
F_a	N	active cutting force
F_x	N	measured force in x-direction
F_y	N	measured force in y-direction
$G(\omega)$	-	compliance matrix in frequency domain
I	mm^4	Area moment of inertia
I_A	mm^4	Area moment of inertia about a particular axis

Variable	Unit	Description
I_c	A	electric current
$\mathbf{K}$	-	stiffness matrix
$\mathbf{M}$	-	mass matrix
Q	cm^3	material removal rate
R_m	N/m^2	ultimate tensile strength
U	-	uniformity ratio
X	m	displacement matrix
$X(\omega)$	-	displacement matrix in frequency domain
X_0	-	maximum amplitude
$dotX$	m/s	velocity matrix
$\ddot{X}$	m/s^2	acceleration
a_{cr}	mm	critical axial depth of cut
a_e	mm	radial depth of cut
a_p	mm	axial depth of cut
b	-	damping constant
b_{lim}	mm	maximum depth of cut
c		damping co-efficient
d_i	mm	diameter
f_0	Hz	eigen-frequency
f_z	mm	feed per cutting edge
h_c	mm	uncut chip thickness
i	-	imaginary number
l_c	mm	cutting edge contact length
l_i	mm	length
k	N/m	stiffness
m	kg	mass
m_{va}	kg	mass of vibration absorber
n_i	1/s	natural frequencies
r_T	mm	cutting tool radius
t	s	time
v_c	m/min	cutting speed
v_f	m/min	feed speed

Variable	Unit	Description
$\dot{x}$	m/s	velocity
$\ddot{x}$	m/s^2	acceleration
x	m	displacement
α_i	°	relief angle
β_i	°	wedge angle
γ_i	°	rake angle
λ	°	helix angle
μ_A	-	mass ratio
μ_T	-	mass ratio
τ_0	N/m^2	shear stress
τ_i	°	pitch angle
ω_0	rad/s	first eigen(circular) frequency

Symbols and Abbreviations

Abbreviations

HSC	High-Speed-Cutting, Hochgeschwindigkeitsbearbeitung
ISO	International Standards Organisation
DIN	Deutsches Institut für Normung / German institute for standardisation
EN	English
SK	Steilkegel / for taper shank
HSK	Hohlschaftkegel / for hollow taper shank
HPC	High-Performance-Cutting, Hochleistungsbearbeitung
ERF	Electro-rheological fluid
MRF	Magneto-rheological fluid
DVA	Dynamic vibration absorber
SLD	Stability lobe diagram
HB	Brinell Hardness
HRC	Rockwell hardness constant
CNC	Computerised numerical control

NC	Numerical control
FFT	Fourier frequency transformation
BNC	Bayonet Neill–Concelman
PCB	printed circuit board

Preface by the editor

Der Einsatz von Zerspanungswerkzeugen zur Bearbeitung von Formen und Gesenken mit einem größtmöglichen Produktivitätsgewinn steht seit Jahrzehnten im Mittelpunkt der Forschung. Dieses Thema ist für Hochlohnländer von strategischer Bedeutung, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Werkzeugsysteme, bestehend aus Werkzeugen und Spannfuttern insbesondere bei einem großen Aspektverhältnis, stellen das schwächste Glied in der Konstruktion der Werkzeugmaschine dar. Wodurch die einsetzbare Schnittgeschwindigkeit Aufgrund Rattern signifikant eingeschränkt wird.

Ziel dieser Arbeit ist daher die Entwicklung eines semi-aktiv gedämpften Spannfutters zur Reduzierung von Rattern. Zunächst wurden die Randbedingungen des bestehenden Spannfutters mittels Modalanalyse ermittelt. Anschließend wurden die Grenzen des Prozesses für das bestehende Fräsfutter experimentell untersucht. Bei der Konstruktion des Prototyps wird die Produktentwicklungsmethodik nach der VDI-Richtlinie 2221 angewendet. Elektrorheologische Flüssigkeiten ändern ihre Viskosität, wenn sie durch ein elektrisches Feld aktiviert werden. Die Anpassung des bestehenden Werkzeugsystems für die Integration von elektrorheologischen Flüssigkeiten wird in zwei Hauptaspekten gegliedert. Erstens die Konstruktion eines Massenrings, der mit Hilfe der elektrorheologischen Flüssigkeit an das Fräsfutter zur Schwingungsdämpfung gekoppelt wurde. Die Konstruktion des Massenrings wurde iterativ durch Experimente bestimmt. Zweitens die Integration der Möglichkeit zur Übertragung der elektrischen Spannung beim Fräsen. Die größte Herausforderung besteht hier darin, eine stabile Spannungsübertragung in das rotierende System zu ermöglichen. Die Validierung des Prototyps wurde durch Schwingungsanalyse durchgeführt. Durch Fräsexperimente wurde die Anwendung des entwickelten Prototyps für einen Anwendungsfall demonstriert.

Darmstadt, im Januar 2022 — Prof.Dr.-Ing. Eberhard Abele

Acknowledgement

This thesis was written as a part of my work at Institute for Production Management, Technology and Machine Tools, PTW at the Technical University of Darmstadt.
I express my gratitude to the chair professor Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele for his supervision of this thesis and his constructive feedback. I would also like to thank him for giving me the chance to pursue my higher education at his chair and gain invaluable experience during my time there.
To my colleagues at the the institute, I would like to thank you all especially for the highly co-operative work environment. A special thanks here goes to all the members of the cutting tools department during my tenure at the institute. I will always remember the after-work team building events. In the same vein, I would thank all the students, who assisted me in the execution of the experiments. Without your excellent work ethic and support, this work would have taken a lot longer.
The biggest thanks, without doubt, goes to my mother Mrs. Mrudula Joshi and my father Mr. Dhananjay Joshi. Without your never ending support for my decisions and belief in me all through out these years, none of this would have been possible. A very special thanks goes to my loving aunt Mrs. Manjusha Gawde, for your help and support. Last but not least, thank you to Julia Kolb and Lukas Freudl for being not just the best flatmates, but also for being my substitute family during all the many years in Darmstadt.

Gießen im Januar. 2022 Mihir Joshi