

Beitrag zur Steigerung der Prozeßsicherheit beim Hochgeschwindigkeitsbohren von Vergütungsstahl

Vom Fachbereich Maschinenbau

an der Technischen Universität Darmstadt

zur

Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte

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

vorgelegt von

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jens Elzenheimer

aus Frankfurt

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. E. Abele
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. R. Nordmann
Tag der Einreichung:	28. Juni 2005
Tag der mündlichen Prüfung:	26. Oktober 2005

Darmstadt 2005

Darmstädter Forschungsberichte für Konstruktion und Fertigung

Jens Elzenheimer

**Beitrag zur Steigerung der Prozeßsicherheit beim
Hochgeschwindigkeitsbohren von Vergütungsstahl**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2006

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2006

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

Printed in Germany.

ISBN-10: 3-8322-5001-8

ISBN-13: 978-3-8322-5001-0

ISSN 1430-7901

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt.

Mein herzlicher Dank gilt dem Leiter des Fachgebiets, Herrn Professor Dr.-Ing. Eberhard Abele für die Möglichkeit, diese Arbeit durchführen und anfertigen zu können sowie für die hilfreichen Diskussionen im Zuge der Fertigstellung.

Herrn Professor Dr.-Ing. Rainer Nordmann danke ich sehr für sein fachliches Interesse und die bereitwillige Übernahme des Koreferats.

Dank gilt auch dem ehemaligen Fachgebietsleiter Herrn Professor Dr.-Ing. Herbert Schulz für das Vertrauen, daß er mir zu Beginn meiner Tätigkeit am Fachgebiet entgegen gebracht hat.

Ich bedanke mich bei allen Kolleginnen und Kollegen am Fachgebiet für die zahlreichen fachlichen Diskussionen und Anregungen sowie die tatkräftige Unterstützung bei diversen Versuchen im Rahmen dieser Arbeit. Vor allem seien hier die Herren Dipl.-Ing. Michael Kreis, Dipl.-Ing. Matthias Weigold und Dipl.-Ing. Andreas Ellermeier genannt. Auch allen Studien- und Diplomarbeitern sowie wissenschaftlichen Hilfskräften gilt mein Dank, vor allem den Herren Julien Hohenstein, Roland Höltscher, Martin Flashaar-Bloedorn und Marcel Vey. Eine große Hilfe beim Aufbau von Versuchseinrichtungen und dem Anfertigen von Proben waren die Mitarbeiter der mechanischen und elektrotechnischen Werkstätten, stellvertretend sei den Herren Jürgen Geissler und Dipl.-Ing. (FH) Hans-Jürgen Hermann gedankt.

Bedanken möchte ich mich bei den Herren Dr.-Ing. Udo Fiedler und Dr.-Ing. Alexander Versch, die in den letzten Jahren mehr als nur Kollegen am Fachgebiet waren und mit Ihrer Unterstützung, Ratschlägen, Kritik und "Laufbereitschaft" einen großen Anteil am Gelingen dieser Arbeit haben. Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. Tobias Liebeck danke ich für die Unterstützung und die zielführenden Diskussionen. Besonders möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Matthias Tschannerl für die zahlreichen hilfreichen aber mitunter auch anstrengenden Gespräche im Rahmen unserer gemeinsamen Forschungsaktivitäten danken. Viel Glück bei deiner Arbeit!

Bedanken möchte ich mich bei meiner Mutter, die mir diesen Ausbildungsweg ermöglicht und mich im Laufe der letzten Jahre uneingeschränkt unterstützt hat.

Aber vor allem möchte ich meiner Sonja danken, nicht nur für die kritische Durchsicht der Arbeit, sondern vor allem für ihre Liebe, ihr Verständnis ihren Humor und dafür, daß sie immer für mich da ist – Danke für alles!

Darmstadt, im Juni 2005

Jens Elzenheimer

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
2	PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG.....	3
3	STAND DER TECHNIK.....	6
3.1	DAS FERTIGUNGSVERFAHREN BOHREN.....	6
3.1.1	<i>Bohrwerkzeuge und -prozeß</i>	7
3.1.1.1	Art und Aufbau von Bohrwerkzeugen.....	7
3.1.1.2	Spanentstehung beim Bohren und Spänefluß.....	11
3.1.1.3	Prozeßkräfte beim Bohren.....	13
3.1.2	<i>Hochgeschwindigkeitsbohren</i>	17
3.1.2.1	Grundlagen der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung.....	17
3.1.2.2	Der Prozeß des Hochgeschwindigkeitsbohrens.....	19
3.2	DYNAMIK VON BOHRPROZESSEN.....	21
3.2.1	<i>Radiale Schwingungen</i>	23
3.2.2	<i>Torsionsschwingungen beim Bohrprozeß</i>	25
3.2.3	<i>Axialschwingungen</i>	29
3.3	URSACHEN FÜR SCHWINGUNGEN.....	32
3.4	MEßTECHNIK ZUR AUFNAHME VON ZERSPANKRÄFTEN UND SCHWINGUNGEN.....	34
3.4.1	<i>Messung der Zerspankräfte</i>	34
3.4.2	<i>Schwingungsmessung</i>	37
3.4.3	<i>Signalverarbeitung</i>	38
3.5	MÖGLICHKEITEN ZUR THERMISCHEN ANALYSE DES BOHRPROZESSES.....	40
4	PROZEBBINGTE EINFLÜSSE BEIM HOCHGESCHWINDIGKEITSBOHREN.....	43
4.1	EINFLUß DER MECHANISCHEN BELASTUNG.....	43
4.1.1	<i>Versuchsaufbau und Vorgehen bei der Messung</i>	43
4.1.2	<i>Ergebnisse der Messungen von Kräften und Moment</i>	46
4.1.2.1	Ergebnisse zum Bohrmoment.....	47
4.1.2.2	Ergebnisse zur Vorschubkraft.....	50
4.1.2.3	Ergebnisse zu den Radialkräften.....	53
4.1.2.4	Zusammenfassung der statischen Belastung.....	57
4.1.3	<i>Analyse der dynamischen Belastung</i>	58
4.1.3.1	Dynamische Analyse des Bohrmoments.....	59
4.1.3.2	Dynamische Analyse der Vorschubkraft.....	62
4.1.3.3	Dynamische Analyse der Radialkräfte.....	65
4.1.3.4	Zusammenfassung der dynamischen Belastung.....	68
4.2	WERKSTOFFVERHALTEN BEIM BOHRPROZEß.....	70
4.2.1	<i>Vorgehen zur Temperaturbestimmung</i>	70
4.2.2	<i>Ergebnisse der Temperaturmessung beim Bohren</i>	71
4.2.3	<i>Auswirkungen des Werkstoffverhaltens auf den Bohrprozeß</i>	73
5	MODELL ZUR IDENTIFIKATION GEEIGNETER TECHNOLOGIEPARAMETER.....	75
5.1	SYSTEMIDENTIFIKATION.....	75
5.1.1	<i>Grundlagen der Systemtheorie</i>	75
5.1.2	<i>Identifikationsmethoden</i>	76
5.1.2.1	Klassen von mathematischen Modellen.....	76
5.1.2.2	Klassen von verwendeten Signalen.....	77
5.2	BESCHREIBEN DES MODELLS.....	78
5.2.1	<i>Entwicklung einer Methodik zur Bewertung des Zerspanprozesses</i>	80
5.2.1.1	Frequenzanalyse.....	80
5.2.1.2	Bewertung der Kräfte und Momente im Zeitbereich.....	82
5.2.1.3	Bewertung der Kräfte und Momente im Frequenzbereich.....	86
5.2.2	<i>Gesammodell</i>	87

5.3	EINSATZ DES MODELLS ZUM ERMITTELN GEEIGNETER SCHNITTPARAMETER	90
6	VERIFIKATION	94
6.1	ERMITTLUNG VON OPTIMIERTEN TECHNOLOGIEPARAMETERN AN EINER ZWEITEN MASCHINE.....	94
6.2	WIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG	96
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	98
8	LITERATUR	100