

August 2015

Realisierung effizienter Zerspanprozesse

Ergebnisbericht des BMBF Verbundprojekts Reffiz

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten der deutschen Projektpartner wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.



Autorenkollektiv

Verantwortliche Autoren: Christian Brecher,
Matthias Daniels, Frederik Wellmann,
Stephan Neus, Alexander Epple

Förderkennzeichen der Projektpartner:

- 02PJ1170 Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH
- 02PJ1171 MAN Truck & Bus AG
- 02PJ1172 Sandvik Tooling Deutschland GmbH
- 02PJ1173 Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- 02PJ1174 Skrobaneck Metallbearbeitungs GmbH
- 02PJ1175 Robert Bosch GmbH
- 02PJ1176 Siemens Aktiengesellschaft
- 02PJ1177 Index-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky

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.

Copyright Shaker Verlag 2015

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3917-7

ISSN 1866-1742

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Projektmitarbeiter:

Altstädter, Harald	Gebr. HELLER Maschinenfabrik GmbH
Amthor, Karl-Josef	Siemens AG
Beck, Eberhard	INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn und Tessky
Bertsche, Ralf	INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn und Tessky
Christoffel, Klaus, Dr.-Ing.	Sandvik Tooling Deutschland GmbH
Daniels, Matthias	Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Driouk, Zoia	Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Epple, Alexander	Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Faber, Gerd	Skrobanek Metallbearbeitung GmbH
Gann, Simon	Gebr. HELLER Maschinenfabrik GmbH
Görres, Ralf	Siemens AG
Hoffmeier, Raimund	INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn und Tessky
Hummel, Erhard	Gebr. HELLER Maschinenfabrik GmbH
Kleckner, Josef, Dr.-Ing.	Robert Bosch GmbH
Köpken, Hans-Georg, Dr.-Ing.	Siemens AG
Krebs, Cornelia	Siemens AG
Lohse, Wolfram, Dr.-Ing	Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Magnevall, Martin, Ph.D.	Sandvik AB
Mayer, Michael, Dr.-Ing.	Gebr. HELLER Maschinenfabrik GmbH
Melchinger, Andreas, Dr. rer. nat.	INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn und Tessky
Neus, Stephan	Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Otto, Andreas	Institut für Physik der TU Chemnitz
Schneider, Christian	MAN Truck & Bus AG
Schwarz, Florian, Dr.-Ing.	MAN Truck & Bus AG
Sellmeier, Volker, Dr.-Ing.	INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn und Tessky
Wellmann, Frederik	Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Projektbetreuung:

Scherr, Stefan	Projektträger Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie
-----------------------	---

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Geleitwort des Projektträgers.....	V
Vorstellung ausgewählter BMBF-Projekte	VII
Vorwort.....	XI
Kurzfassung.....	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Ziele des Projekts.....	1
1.2 Kurzvorstellung des Projektkonsortiums	2
1.2.1 Gebr. HELLER Maschinenfabrik GmbH.....	2
1.2.2 INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky	2
1.2.3 Sandvik GmbH.....	3
1.2.4 Siemens AG.....	3
1.2.5 Robert Bosch GmbH.....	3
1.2.6 MAN Truck & Bus AG	4
1.2.7 Skrobaneck Metallbearbeitung GmbH	4
1.2.8 Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen	4
2 Stand der Technik	5
2.1 Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen	5
2.1.1 Messtechnische Untersuchung	6
2.1.2 Analytische Modellierung	9
2.1.3 Werkzeug-Werkstück-Durchdringung	11
2.2 Simulation der Prozessstabilität	13
2.2.1 Regeneratives Rattern	13
2.2.2 Simulation der Prozessstabilität im Frequenzbereich.....	15
2.2.3 Simulation der Prozessstabilität im Zeitbereich.....	17
2.3 Modellierung der NC-Bewegungsführung	19
2.3.1 Vorschubantriebe und Antriebsregelkreise	19
2.3.2 Virtuelle NC-Steuerungen	22
2.4 CAM-NC-Planung von Zerspanprozessen	24
2.5 Virtualisierung im industriellen Umfeld	26
2.5.1 Konstruktion	26
2.5.2 Arbeitsvorbereitung	27
3 Anforderungen und Lösungsansatz	29
3.1 Anforderungen aus Sicht des Endanwenders	29
3.2 Anforderungen aus Sicht der Maschinenhersteller.....	29
3.2.1 Anforderungen aus Sicht eines Fräsmaschinenherstellers	29
3.2.2 Prozesssimulation in der Virtuellen Maschine (INDEX).....	30
3.3 ReffIZ-Anforderungsliste	31
3.4 ReffIZ-Lösungsansätze	36

4	Erweiterte Simulation des Stabilitätsverhaltens	37
4.1	Simulation des zweieinhalbdimensionalen Fräsprozesses.....	37
4.1.1	Simulation der Zerspankraft	38
4.1.2	Simulation der Verlagerung zwischen Werkzeug und Werkstück	43
4.1.3	Berücksichtigung positionsabhängiger dynamischer Nachgiebigkeiten	48
4.1.4	Ermittlung modaler Parameter aus simulierten oder gemessene Nachgiebigkeitsfrequenzgängen	53
4.2	Anwendung für Fräsprozess.....	55
4.2.1	Experimentelle Untersuchungen	55
4.2.2	Vergleich von Simulation und Experiment.....	59
4.3	Modellierung des Drehprozesses	61
4.3.1	Dynamisches Zerspankraftmodell für den Drehprozess	61
4.3.2	Effekte der geschwindigkeitsabhängigen Prozesskräfte	63
4.3.3	Eigenwertbasierte Stabilitätsanalyse des Drehprozesses	66
4.3.4	Effekte prozess-induzierter Drehzahlvariationen	68
4.4	Abgleich theoretischer und experimenteller Stabilitätskarte für Drehprozess.....	74
4.5	Berücksichtigung der Eigenschaften von Fügestellen in FE-Modellen	77
5	Parametrierung und Kalibrierung der Modelle.....	85
5.1	Bestimmung von Prozesskräften	85
5.1.1	Mechanistische Modellierung zur Ermittlung von Zerspankraftkoeffizienten .	85
5.1.2	Generelle Hinweise zur Kraftmessung	90
5.1.3	Bestimmung der Zerspankraftkoeffizienten aus Achsströmen	93
5.1.4	Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die Zerspankräfte.....	95
5.2	Einflüsse auf die Werkzeugstandzeit.....	97
5.2.1	Einflüsse der Schnittgeschwindigkeit und des Vorschubs auf die Standzeit .	97
5.2.2	Einfluss der Temperatur auf den Werkzeugverschleiß.....	99
5.3	Auslegung und Bau eines Kraft-Dynamometers.....	100
5.3.1	Dynamometer Auslegung.....	100
5.3.2	Kalibrierung des Dynamometers	101
5.3.3	Experimentelle Umsetzung	102
5.4	Nutzung maschineninterner Größen zur Bestimmung von Zerspankraftkoeffizienten mittels Störgrößenbeobachter	104
5.4.1	Rekonstruktion der Zerspankräfte mithilfe der Störgrößenbeobachter	104
5.4.2	Ein modifizierter Ansatz zur Ermittlung der Zerspankraft-Koeffizienten.....	106
5.4.3	Identifikation an Prüfstand und Maschine.....	110
5.5	Nutzung maschineninterner Größen zur Bestimmung der Stabilitätsgrenze	112
5.5.1	Stabilitätsbeurteilung anhand von Positionssignalen der Achsen	112
6	Effiziente und physikorientierte NC-Simulation	119
6.1	Struktur für die physikorientierte Simulation von 2,5D-Fräs- und Drehprozessen	119
6.2	Recheneffiziente Modellierung des zeitvarianten Prozessverhaltens.....	122
6.2.1	Eingriffsbedingungen bei der Fräsbearbeitung.....	122
6.2.2	Eingriffsbedingungen bei der Drehbearbeitung	125
6.3	Positionssensitive Abbildung des dynamischen Maschinenverhaltens	127

6.3.1	Interpolation von Nachgiebigkeitsfrequenzgängen	127
6.3.2	Umsetzung am Beispiel der Heller MCH350	128
6.4	Integrative Simulation der dynamischen Prozess-Maschine-Interaktion mit gekoppelten Antriebs- und Steuerungsmodellen.....	131
6.4.1	Erweiterung des VNCK um Schnittstelle zu Virtuellen Antrieben	131
6.4.2	Simulationskomponente Virtueller Antrieb	132
6.4.3	Simulationskomponente Mechanik- und Prozessmodell	137
6.4.4	Modellbasierte SW-Entwicklung.....	139
6.5	Stabilitätsbewertung und Antriebsauslastung	141
6.5.1	Ohne virtuelle Antriebe.....	141
6.5.2	Mit virtuellen Antrieben.....	142
6.6	Analyse von Freiformkonturen in NC-Programmen.....	146
7	Anwendungsorientierter Einsatz der Simulationsmodelle	149
7.1	Integration der Simulationsmodelle in CAM Programmiersysteme und NC Simulationssysteme	149
7.1.1	Modulare Integration und Synchronisation	149
7.1.2	Anwendungsorientierte Visualisierung von Simulationsergebnissen	153
7.2	Anwendersystem für die integrative Fertigungsplanung von Fräsprozessen	155
7.2.1	Anwendungsszenario Fräsbearbeitung.....	155
7.2.2	Ablaufsimulationsmodell	157
7.2.3	Wirtschaftlich-technologische Evaluation	158
7.3	Anwendersystem für die integrative Fertigungsplanung von Drehprozessen.....	162
7.3.1	Anwendungsszenario Drehbearbeitung	162
7.3.2	Wirtschaftlich-technologische Evaluation	165
7.4	Aktueller Stand und Ausblick für den anwendungsorientierten Einsatz.....	168
8	Maßnahmen zum Transfer der Projektergebnisse.....	171
8.1	Veröffentlichungen	171
8.1.1	In Büchern, Tagungsbänder, Magazinen oder Zeitschriften.....	171
8.1.2	Sonstige Veröffentlichungen	171
8.2	Tagungen und Konferenzen.....	172
8.3	Workshops, Messen und andere Veranstaltungen.....	173
8.4	Internetpräsenz	173
9	Zusammenfassung und Ausblick	175
9.1	Aus Sicht der Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH	175
9.2	Aus Sicht der MAN Truck & Bus AG	175
9.3	Aus Sicht der Sandvik Tooling Deutschland GmbH	176
9.4	Aus Sicht des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen.....	176
9.5	Aus Sicht der Skrobaneck Metallbearbeitungs GmbH	177
9.6	Aus Sicht der Robert Bosch GmbH.....	177
9.7	Aus Sicht der Siemens AG.....	178
9.8	Aus Sicht der INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn und Tessky	178
	Literaturverzeichnis	XV