

Vermeidung von Oberflächendefekten beim Wälzfräsen

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Arne Stuckenberg

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Dezember 2013

Berichte aus der Produktionstechnik

Arne Stuckenberg

Vermeidung von Oberflächendefekten beim Wälzfräsen

Herausgeber:

Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Dipl.-Wirt. Ing. W. Eversheim

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. mult. F. Klocke

Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Prof. h. c. mult. T. Pfeifer

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. G. Schuh

Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. E. h. M. Weck

Prof. Dr.-Ing. C. Brecher

Prof. Dr.-Ing. R. Schmitt

Band 2/2014
Shaker Verlag

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.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2013)

Copyright Shaker Verlag 2014

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2769-3

ISSN 0943-1756

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

Vorwort

Preamble

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Lehrstuhls für Technologie der Fertigungsverfahren am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Ich möchte Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke, dem Inhaber des Lehrstuhls für Technologie der Fertigungsverfahren, für die freundliche Unterstützung und Förderung dieser Arbeit danken. Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze, dem Leiter des Bereichs Fertigungs- und Werkstofftechnik des Instituts für Produktionstechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), danke ich für die Diskussion der Arbeit und die Übernahme des Koreferats. Ihre wertvollen Hinweise haben maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schröder danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Maßgeblich zum Erfolg der Arbeit beigetragen haben auch der Arbeitskreis VIII „Verzahntechnik“ des VDW-Forschungsinstituts sowie der WZL-Getriebekreis. Ich möchte mich bei allen beteiligten Firmen und Stellvertretern für die materielle Unterstützung und Diskussionsbereitschaft bedanken. Stellvertretend erwähnen möchte ich die Firmen Liebherr Verzahntechnik, Gleason, ZF, Oerlikon Balzers und LMT Fette. Für die fachliche Diskussion und ihr fortwährendes Interesse an der Thematik danke ich den Herren Dr.-Ing. Oliver Winkel und Dr.-Ing. Claus Kobialka.

In Erinnerung bleiben wird mir die hervorragende wissenschaftlich, konstruktive Zusammenarbeit mit meinen Kollegen und Mitarbeitern. Dafür bedanke ich mich besonders bei Thomas Fischer für die messtechnische Unterstützung, Brigitte Niederbach für die Bereitstellung der metallografischen Analysen, Gerd-Thomas Weber und Deniz Sari für die stetige Bereitschaft zur Diskussion und Christian Hädrich, Markus Krömer, Jasmin Saewe sowie Peter Schlegel für ihren besonderen Einsatz bei der Unterstützung der wissenschaftlichen Arbeit.

Für die kritische Durchsicht der Arbeit und ihre wertvollen Anregungen danke ich meinen langjährigen Kollegen Dr.-Ing. Rolf Schalaster und Dr.-Ing. Markus Brumm.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mich in meinem Handeln immer unterstützt haben. Herzlich danke ich meiner Lebensgefährtin Frau Kay-Ute Oevermann, die mir stets den nötigen Freiraum zur Erstellung der Arbeit gegeben und mich nach Kräften unterstützt hat.

Auetal, im März 2014

Inhaltsverzeichnis

Content

1	Einleitung	1
2	Stand der Forschung und Technik.....	5
2.1	Bedeutung von Zahnrädern als Maschinenelemente	5
2.2	Prozessketten zur Herstellung von Stirnrädern	6
2.3	Stand der Forschung beim Wälzfräsen	9
2.3.1	Verfahrenskinematik beim Wälzfräsen	10
2.3.2	Werkzeugsysteme zum Wälzfräsen	12
2.3.3	Einsatz von Simulationswerkzeugen beim Wälzfräsen	14
2.4	Prozessauslegung beim Wälzfräsen	16
2.5	Schlussfolgerung und Ableitung der Problemstellung	20
3	Motivation und Zielsetzung	23
4	Abgrenzung und Vorgehensweise der Untersuchungen	25
4.1	Abgrenzung des Gestaltungsraums innerhalb des Systems Wälzfräsen	25
4.2	Vorgehensweise im Rahmen der Untersuchungen	26
5	Analyse des Prozesses Wälzfräsen	29
5.1	Bauteilauswahl für die Erzeugung einer empirischen Datenbasis	29
5.2	Analysemethoden zur Untersuchung von Oberflächendefekten	31
5.3	Auftreten von Oberflächendefekten im Wälzfräsversuch	32
5.3.1	Auftreten in Abhängigkeit von der Zeit	33
5.3.2	Auftreten in Abhängigkeit vom Ort	35
5.4	Klassifizierung von Oberflächendefekten	39
5.5	Fazit der Prozessanalyse	45
6	Ursachenanalyse zur Entstehung von Oberflächendefekten	47
6.1	Aufbau eines Analogieversuchs	47
6.2	Abgleich der Defekte im Wälzfräs- und Analogieversuch	49
6.3	Einfluss von kinematischen Größen	50
6.4	Einfluss des Axialvorschubs	56
6.5	Einfluss der Werkzeugauslegung	61
6.6	Einfluss der Schnittstrategie	69
6.7	Einfluss der Prozessführung	71
6.8	Gegenüberstellung der Defekte mit einer FE-basierten Prozesssimulation	76
6.9	Fazit der Ursachenanalyse	83
7	Modell zur Vermeidung von Oberflächendefekten	85
7.1	Modellarten beim Zerspanen und Modellauswahl	85
7.2	Definition von Modelleingangsgrößen	86

7.3	Modellbildung zur Entstehung von Primärdefekten	87
7.4	Modellbildung zur Entstehung von Sekundärdefekten	90
7.5	Ermittlung von Wechselwirkungen	94
7.6	Fazit der Modellbildung	95
8	Validierung des Modells.....	97
8.1	Auswahl von oberflächendefektophilen Verzahnungsfällen	97
8.2	Parametervariation und Analyse der auftretenden Defekte	97
8.3	Diskussion von Modell und Ergebnissen der Validierung	104
8.4	Diskussion zur praktischen Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahmen	108
8.4.1	Beeinflussung der Spanungsgeometrie	109
8.4.2	Beeinflussung der Wirtschaftlichkeit defektvermeidender Prozessauslegungen.....	112
8.5	Fazit der Validierung	115
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	117
10	Literaturverzeichnis.....	123