

Simulationsgestützte Vorhersage des Verschleißverhaltens von Fräswerkzeugen beim Fräsen von Freiformflächen

von der Fakultät Maschinenbau der Universität Dortmund
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte
Dissertation

von

Dipl.-Inform. Andreas Zabel
aus Hagen

Tag der mündlichen Prüfung: 25. Juli 2003

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. K. Weinert

Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. U. Clausen

Prof. Dr. rer. nat. H. Müller

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Stand der Technik | 5 |
| 2.1 | Fräsen von Freiformflächen | 5 |
| 2.1.1 | Einordnung | 5 |
| 2.1.2 | Prozesskette | 6 |
| 2.1.3 | Anwendung | 9 |
| 2.1.4 | Geometrische und technologische Gegebenheiten beim Fräsen von Freiformflächen | 11 |
| 2.1.4.1 | Beschreibung der Eingriffsbedingungen | 11 |
| 2.1.4.2 | Werkzeugverschleiß | 14 |
| 2.1.4.3 | Standzeit | 17 |
| 2.2 | Simulation des Fräsen von Freiformflächen | 19 |
| 2.2.1 | Simulationsarten | 20 |
| 2.2.2 | Verwendete Modelle | 23 |
| 2.3 | Fräsimulationen | 24 |
| 2.3.1 | NCspeed | 25 |
| 2.3.2 | PentAx | 28 |
| 2.4 | Modellierung von Werkzeugverschleiß | 29 |
| 2.4.1 | Experimentelle Untersuchungen | 29 |
| 2.4.2 | Online-Überwachungsverfahren | 30 |
| 2.4.2.1 | Acoustic Emission | 30 |
| 2.4.2.2 | Neuronale Netze und andere Methoden | 31 |
| 2.4.3 | Prognosefähige und modellbasierte Ansätze | 32 |
| 3 | Zielsetzung | 35 |
| 3.1 | Problemstellung | 35 |
| 3.2 | Ziele und Grundidee | 36 |
| 3.3 | Lösungsweg | 37 |
| 3.4 | Erweiterte Zielsetzung | 38 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | Modellierung des Werkzeugverschleißes | 39 |
| 4.1 | Prinzipielle Vorüberlegungen | 39 |
| 4.2 | Anforderungen an ein Simulationssystem | 42 |
| 4.3 | Verschleißmodelle | 45 |
| 4.3.1 | Das Modell von Kamm | 45 |
| 4.3.2 | Das erweiterte Modell | 47 |
| 4.4 | Ermittlung der Eingangsgrößen | 49 |
| 4.4.1 | Simulationsablauf | 50 |
| 4.4.2 | Simulative Berechnung der Eingangsgrößen für die Verschleißmodelle | 57 |
| 4.4.2.1 | Berechnung der Eingriffslänge | 57 |
| 4.4.2.2 | Ermittlung des Gleich- und Gegenlaufanteils aus einer Eingriffsbedingung | 60 |
| 4.4.2.3 | Bestimmung des Bohr- und Ziehfräsanteils aus einer Eingriffsbedingung | 61 |
| 4.4.2.4 | Simulative Ermittlung der Spannungsdicke h | 62 |
| 4.4.3 | Das Konzept der differenzierten Eingriffsbereiche | 64 |
| 4.4.4 | Validierung des Eingriffsbereichskonzeptes | 65 |
| 4.4.4.1 | Versuchsaufbau – erste Alternative | 65 |
| 4.4.4.2 | Versuchsaufbau – realisierte Alternative | 66 |
| 4.4.4.3 | Versuchsplanung | 69 |
| 4.4.4.4 | Experimente | 70 |
| 4.5 | Ausgangsgrößen, Signale und Aktionen | 76 |
| 5 | Validierung | 79 |
| 5.1 | Experimentelle Parameteranpassung | 80 |
| 5.1.1 | Parameteranpassung für das erste Testwerkstück | 80 |
| 5.1.2 | Parameteranpassung für das zweite Testwerkstück | 83 |
| 5.2 | Rechnerische Parameteranpassung | 86 |
| 5.3 | Testwerkstück 1 | 87 |
| 5.3.1 | Bewertung durch das Modell von Kamm | 89 |
| 5.3.1.1 | Monolithische Werkzeugbetrachtung | 89 |
| 5.3.1.2 | Eingriffsbereiche | 90 |
| 5.3.2 | Bewertung durch das erweiterte Modell | 92 |
| 5.3.2.1 | Monolithische Werkzeugbetrachtung | 92 |
| 5.3.2.2 | Eingriffsbereichskonzept | 93 |
| 5.4 | Testwerkstück 2 | 95 |
| 5.4.1 | Bewertung durch das Modell von Kamm | 97 |
| 5.4.2 | Bewertung durch das erweiterte Modell | 98 |

| | |
|--|------------|
| 6 Design und Implementierung | 101 |
| 6.1 Zusammensetzung des Gesamtsystems | 101 |
| 6.1.1 Einsatz des Systems und Benutzeroberfläche | 102 |
| 6.1.2 Design | 106 |
| 6.1.3 Rechenzeiten | 109 |
| 7 Zusammenfassung und Ausblick | 111 |
| Literaturverzeichnis | I |