

# Bibliografische Beschreibung

Ebert, Andreas

Thema: Berücksichtigung der elastischen Werkzeugdeformation im Bereich der Massivumformung am Beispiel Gesenkschmieden

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Professur Virtuelle Fertigungstechnik, Chemnitz, 2009-04-29

Seitenanzahl: 145

Anzahl der Abbildungen: 84

Anzahl der Tabellen: 7

Anzahl der Literaturzitate: 91

## Referat

Die Produktqualität in der Schmiedep Praxis wird maßgeblich von den formgebenden Werkzeugen bestimmt. Vor allem beim Präzisionsschmieden und bei der Fertigung von endkonturnahen Teilen ist es notwendig, den Einfluss der elastischen Werkzeugdeformation auf die Qualität des Schmiedeteils noch genauer zu untersuchen. Detaillierte Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen der elastischen Werkzeugdeformation, den Qualitätsmerkmalen des Schmiedeteils und den Prozessgrößen liegen in geschlossener und vollständiger Form derzeit nicht vor.

Unter diesem Gesichtspunkt wird die elastische Werkzeugdeformation an einem Schmiedeprozess simulativ untersucht, experimentell überprüft und eine Kompensationsmöglichkeit geschaffen. Dazu werden die prozessbestimmenden Einflussgrößen an einem Referenzprozess analysiert. Die Ermittlung relevanter Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge soll zu einem besseren und detaillierteren Prozessverständnis beitragen. Aus diesen grundlegenden Erkenntnissen zur elastischen Werkzeugdeformation wird ein Korrekturalgorithmus (KORAL) zur Kompensation entwickelt. Der Grundgedanke dieser Methode besteht darin, die numerisch ermittelte Geometrieabweichung aktiv in die Korrektur der formgebenden Flächen am Werkzeug einzubinden. Eine angepasste und parameterabhängige Offset-Geometrie auf der Basis der Sollkontur der Gravur berücksichtigt hinreichend genau die elastische Dehnung des gewählten Werkzeuges. Die Schmiedeteiltoleranzen werden dadurch wesentlich verringert.

## Schlagworte:

Massivumformung, Gesenkschmieden, Werkzeugkonstruktion, Elastische Aufweitung der Gravur, Prozessparameter, Einflussgrößenabhängige Kompensationsmethode, Korrekturalgorithmus KORAL, FEM, Simulation

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Nomenklatur</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>14</b>
<b>2 Stand der Technik</b> .....	<b>17</b>
2.1 Historisches.....	17
2.2 Qualitätsanforderungen an Schmiedeteile .....	18
2.3 Beanspruchung der Schmiedewerkzeuge .....	21
2.3.1 Mechanische Beanspruchung.....	21
2.3.2 Thermische Beanspruchung .....	23
2.3.3 Tribologische Beanspruchung.....	24
2.3.4 Chemische Beanspruchung .....	28
2.3.5 Fazit.....	28
2.4 FEM-Simulation des Gesenkschmiedens .....	28
2.5 Prozesskette Werkzeugherstellung beim Gesenkschmieden.....	31
2.6 Einflussparameter auf die elastische Werkzeugdeformation.....	35
2.6.1 Werkstückeigenschaften.....	35
2.6.2 Volumen- bzw. Gewichtsänderung des Rohlings .....	36
2.6.3 Werkzeugtemperatur .....	36
2.6.4 Gesenkwerkstoff und Werkstoffkombinationen .....	37
2.6.5 Genauigkeit der Gravurherstellung und Beschichtungen .....	38
2.6.6 Elastische Aufweitung der Gesenke.....	39
2.7 Untersuchungen zum elastischen Werkzeugverhalten .....	40
<b>3 Zielsetzung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>45</b>
<b>4 Konzepte zur Verringerung der mechanischen Werkzeugbelastungen</b> .....	<b>47</b>
4.1 Aspekte der Werkzeugauslegung beim Gesenkschmieden .....	47
4.2 Technologische Maßnahmen.....	51
4.2.1 Einsatz von hochfesten Werkstoffen für die Werkzeuge .....	51

Inhaltsverzeichnis	7
4.2.2	Reibungsminimierung in der Wirkfuge..... 55
4.2.3	Werkzeugarmierungen ..... 57
4.3	Ansätze zur Kompensation der elastischen Werkzeugdeformation ..... 58
4.3.1	Passive Kompensationsansätze..... 58
4.3.2	Aktive Kompensationsansätze ..... 59
<b>5</b>	<b>Entwicklung eines Korrekturalgorithmus ..... 62</b>
5.1	Grundlegende Zusammenhänge der Werkzeugdeformation ..... 62
5.2	Einflussgrößen auf die Werkzeugdeformation..... 63
5.3	Besonderheiten der Warmumformung ..... 65
5.4	Simulation der Werkzeugbelastung..... 66
5.4.1	Auswahl der Schmiedeteilform ..... 66
5.4.2	Aufbau des Simulationsmodells..... 67
5.4.3	Definition des Referenzmodells ..... 73
5.4.4	Ergebnisse ..... 75
5.5	Variationsrechnungen Einflussparameter..... 80
5.5.1	Werkstückwerkstoff ..... 82
5.5.2	Werkstücktemperatur ..... 84
5.5.3	Werkzeugtemperatur und Werkzeugwerkstoff ..... 86
5.5.4	Wärmeübergangskoeffizienten..... 87
5.5.5	Reibung..... 88
5.5.6	Werkzeuggeschwindigkeit..... 90
5.6	Sensitivitätsanalyse der Einflussparameter ..... 91
5.7	Struktur des Korrekturalgorithmus..... 94
5.7.1	Lösungsweg zur Kompensation ..... 94
5.7.2	Kennwertermittlung für die Korrekturfunktion..... 96
5.7.3	Ermittlung der Offset-Geometrie..... 102
5.7.4	Flächenrückführung FEM - CAD..... 105
5.7.5	Softwarelösung Korrekturalgorithmus KORAL..... 107
<b>6</b>	<b>Experimentelle Überprüfung der elastischen Werkzeugdehnung ..... 110</b>

---

6.1	Schmiedeteil und Werkzeugsystem .....	110
6.2	Versuchsplan.....	113
6.3	Versuchsdurchführung.....	115
6.4	Messtechnische Erfassung der elastischen Werkzeugdehnung.....	116
6.5	Versuchsauswertung .....	117
6.5.1	Validierung und Kalibrierung mit der Simulationsrechnung .....	117
6.5.2	Bewertung und Diskussion der Versuchsergebnisse.....	120
6.5.2.1	Werkstücktemperatur .....	120
6.5.2.2	Reibungsverhältnisse in der Wirkfuge .....	123
6.5.2.3	Werkzeugtemperatur und Elastizitätsmodul .....	124
<b>7</b>	<b>Anwendung des Korrekturalgorithmus .....</b>	<b>127</b>
7.1	Schmiedeteil aus der Warmumformung.....	127
7.2	Übertragung auf andere Umformprozesse.....	128
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>131</b>
<b>9</b>	<b>Verzeichnisse .....</b>	<b>134</b>
9.1	Literatur .....	134
9.2	Abbildungen .....	142
	Lebenslauf .....	145