

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Forschung</b>	<b>7</b>
2.1	Der Radial-Axial-Ringwalzprozess	7
2.1.1	Anwendungen und Herstellungsverfahren nahtloser Ringe	7
2.1.2	Aufbau einer Radial-Axial-Ringwalzmaschine	10
2.1.3	Grundlagen des Radial-Axial-Ringwalzens	12
2.2	Regelung der Werkzeugbewegungen	20
2.2.1	Prozessstabilisierende Bewegungen	21
2.2.2	Regelung der radialen und axialen Abnahme	28
2.2.3	Industrielle Ringwalzwerkssteuerungen	33
2.3	Finite-Elemente-Simulation von Ringwalzprozessen	38
2.3.1	Modelle zur stabilen Berechnung und Verkürzung der Rechenzeit	40
2.3.2	Modelle mit kinematischer Problemstellung	44
2.4	Fazit und Ziele der Arbeit	50
<b>3</b>	<b>Methoden und Versuchsdurchführung</b>	<b>55</b>
3.1	Versuchsanlage	55
3.2	Regelung der Versuchsanlage	56
3.3	Versuchsplanung und -durchführung	59
3.3.1	Prozessplanung	59
3.3.2	Versuchsdurchführung	61
3.4	Finite-Elemente-Methode mit dem Programm Abaqus	64
<b>4</b>	<b>Konventionelle Simulation mit a priori Vorgabe der Kinematik</b>	<b>65</b>
4.1	Modell und Randbedingungen	65
4.1.1	Modellierung des Werkstücks und der Werkzeuge	65
4.1.2	Kinematische Randbedingungen und Kontaktbedingungen	67
4.1.3	Stoffwerte und thermische Randbedingungen	70
4.1.4	Auswahl des Integrationschemas	73
4.2	Validierung des Modells anhand von Versuchen	73
4.2.1	Einfluss der Massenskalierung	75
4.2.2	Einfluss der thermischen Randbedingungen	78
4.2.3	Einfluss der Reibung	80
4.2.4	Einfluss der Fließkurven	80
4.2.5	Formentwicklung	82
4.3	Fazit	87
<b>5</b>	<b>Simulation mit partieller Regelung</b>	<b>89</b>
5.1	Modellaufbau	89

5.1.1 Sensoren .....	90
5.1.2 Bewegungssubroutine .....	92
<b>5.2 Methode 1: Regelung auf Basis der aktuellen Geometrie .....</b>	<b>93</b>
5.2.1 Zentrierrollenposition .....	93
5.2.2 Axialwalzendrehzahl .....	95
5.2.3 Axialgerüstposition.....	95
5.2.4 Zwischenfazit.....	97
<b>5.3 Methode 2: Regelung mit Berücksichtigung der Zentrierkräfte.....</b>	<b>97</b>
5.3.1 Axialwalzendrehzahl .....	97
5.3.2 Zentrierrollenposition .....	101
5.4 Bewertung beider Methoden anhand von Simulationen .....	101
5.5 Validierung anhand von Versuchen .....	104
5.6 Fazit .....	108
<b>6 Simulation mit integrierter industrieller Regelung .....</b>	<b>109</b>
6.1 Führungsverhalten der einzelnen Bewegungsfreiheitsgrade .....	110
6.2 Technologischer Regler und Anbindung an das FE-Modell .....	112
6.2.1 Regelungstask .....	112
6.2.2 Programmiertechnische Erstellung der Regelungstask .....	113
6.2.3 Benutzeroberfläche zur schnellen Erstellung der Regelungstask ...	116
6.3 Validierung anhand von Versuchen .....	117
6.3.1 Abbildung der Kinematik.....	117
6.3.2 Reaktionskräfte und -momente.....	120
6.4 Fazit .....	122
<b>7 Vollständig geregeltes Modell mit einfachen Regelungsalgorithmen .....</b>	<b>125</b>
7.1 Regelung der Bewegungsfreiheitsgrade .....	125
7.1.1 Geschwindigkeiten der Dornwalze und der oberen Axialwalze .....	125
7.1.2 Berücksichtigung der Kräfte- und Momentenbeschränkungen .....	130
7.1.3 Modellbedingungen .....	131
7.2 Validierung anhand eines Versuchs .....	131
7.3 Fazit .....	133
<b>8 Einsatz der Methode beim Axialprofilieren .....</b>	<b>135</b>
8.1 Prozess und Referenzbeispiel.....	135
8.2 Experimente am IBF.....	137
8.3 FE-Modell des Axialprofilierens.....	140
8.3.1 Regelungsalgorithmen.....	140
8.3.2 Programm zur Erstellung von Subroutinen .....	148
8.4 Ergebnisse .....	150
8.5 Fazit .....	154

<b>9 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>155</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>158</b>
<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>167</b>
<b>Kurzfassung.....</b>	<b>173</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>175</b>