

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Stand der Technik.....	3
2.1	Herstellung ringförmiger Produkte .....	3
2.1.1	Der Radial-Axial Ringwalzprozess .....	6
2.1.2	Regelung des Radial-Axial Ringwalzprozesses .....	11
2.1.3	Finite-Elemente-Simulation des Radial-Axial Ringwalzprozesses .....	14
2.2	Formänderungsvermögen und Werkstoffschädigung von Metallen .....	18
2.2.1	Einflüsse auf Formänderungsvermögen und Werkstoffschädigung .....	18
2.2.2	Modellierung der Werkstoffschädigung in der Umformtechnik.....	21
2.2.3	Anwendung von Schädigungskriterien und -modellen .....	28
2.3	Mikrostrukturberechnung in der Warmmassivumformung .....	33
2.3.1	Mikrostrukturberechnung bei Ringwalzprozessen .....	37
2.4	Fazit aus dem Stand der Technik .....	38
3	Problemstellung und Zielsetzung .....	40
4	Datenaufnahme in industriellen Prozessen.....	42
4.1	Darstellung der betrachteten Unternehmen .....	42
4.2	Vorgehensweise bei der Datenaufnahme .....	43
4.3	Aufnahme und Vergleich von Transferzeiten .....	45
4.4	Identifizierung von Schwankungen in der Prozesstemperatur .....	46
4.5	Ermittlung von Schwankungen in Anlagenkinematiken und -kräften .....	52
4.5.1	Auswirkungen von Prozessschwankungen auf die Anlagenkinematik .....	55
4.6	Fazit zur Datenaufnahme .....	58
5	Methoden und Versuchsdurchführung .....	59
5.1	Auswahl von Geometrie, Werkstoff und Variationsbereich .....	59
5.2	Ringwalzanlage für Validierungs- und Bewertungswalzungen .....	65
5.3	Struktur des genutzten FE-Simulationsmodells mit Subroutine .....	66
5.3.1	Aufbau und Randwerte des CAE-Modells .....	67
5.4	Berechnung der Mikrostruktur im Postprocessing über StrucSim .....	69

---

5.5	Schädigungsberechnung in der Simulation .....	71
5.5.1	Implementierung des Oyane Kriteriums über eine Subroutine .....	71
5.5.2	Schädigungsberechnung über das Porous Plasticity Modell .....	73
5.6	Kalibrierung der Schädigungsmodelle und Referenzversuche .....	73
5.6.1	Kalibrierung des Oyane Kriteriums .....	74
5.6.2	Kalibrierung des Porous Plasticity Modells .....	76
5.7	Fazit zu den gewählten Methoden sowie der Versuchsplanung .....	79
6	Untersuchung von Einflussgrößen auf die Mikrostrukturentwicklung .....	81
6.1	Validierung des Mikrostrukturmodells .....	81
6.1.1	Anwendung des Mikrostrukturmodells für 1.4301 Stahl .....	81
6.1.2	Anwendung des Mikrostrukturmodells für 1.7225 Stahl .....	84
6.2	DOE basierte Simulationsstudie zur Mikrostrukturentwicklung .....	87
6.2.1	Einflussuntersuchung auf die Korngröße des 1.4301 Stahl .....	87
6.2.2	Einflussuntersuchung auf die Korngröße des 1.7225 Stahl .....	91
6.3	Fazit zur Untersuchung der Mikrostruktur .....	95
7	Untersuchung von Einflüssen auf Schädigungswerte .....	97
7.1	Simulative Einflussuntersuchung auf Schädigungswerte .....	98
7.1.1	Untersuchung von Einflüssen auf Schädigungswerte nach Oyane .....	99
7.1.2	Untersuchung von Einflüssen auf Werte des Porous Plasticity Modells .....	103
7.1.3	Zwischenfazit zur Schädigungsmodellierung .....	106
7.2	Experimentelle Bewertung der Simulationserkenntnisse .....	108
7.2.1	Vorbereitung und Durchführung der Bewertungsversuche .....	108
7.2.2	Ultraschall- und Nanofocus Untersuchungen der gewalzten Ringe .....	111
7.3	Fazit zur Untersuchung von Einflüssen auf die Werkstoffschädigung .....	114
8	Zusammenfassung und Fazit .....	116
9	Literaturverzeichnis .....	120
10	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis .....	137
11	Anhang .....	142