

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungen und Formelzeichen</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Metallkundliche Grundlagen von Aluminiumlegierungen</b> .....	<b>3</b>
2.1 Legierungsklassifikation der Aluminiumwerkstoffe .....	3
2.2 Technisch relevante Aluminiumlegierungen.....	5
2.3 Festigkeitssteigernde Mechanismen .....	6
2.3.1 Ausscheidungshärtung durch Warmauslagerung .....	6
2.3.2 Mischkristallhärtung .....	8
2.3.3 Dispersionshärtung .....	8
2.3.4 Verformungsverfestigung.....	9
2.3.5 Kornfeinung.....	11
2.4 Plastische Umformung von Ein- und Polykristallen .....	11
2.5 Dynamische und statische Entfestigungsmechanismen.....	13
2.5.1 Dynamische Erholung .....	13
2.5.2 Statische Rekristallisation .....	14
2.5.3 Statische Erholung .....	15
2.6 Einfluss und Beschreibung von Texturen in Aluminiumwerkstoffen.....	16
<b>3 Versuchstechniken zur Werkstoffmodellierung</b> .....	<b>17</b>
3.1 Ermittlung der Werkstoffverfestigung .....	17
3.1.1 Fließspannung und ihre Einflussgrößen.....	17
3.1.2 Versuchstechniken zur Fließkurvenermittlung.....	18
3.1.3 Fließkurvenermittlung im Zylinderstauchversuch .....	21
3.1.4 Temperaturkompensierte Fließkurven.....	26
3.2 Experimentelle Ermittlung statischer Werkstoffentfestigung .....	30
3.2.1 Spannungsrelaxationsversuch.....	31
3.2.2 Doppel – und Mehrstufenversuche .....	33

<b>4</b>	<b>Modellierung von Fließkurven für die FEM.....</b>	<b>35</b>
4.1	Empirisch-mathematische Modelle zur Fließkurvenbeschreibung .....	35
4.2	Empirisch-phänomenologische Fließkurvenmodelle .....	37
4.3	Metallphysikalische Fließkurvenmodelle .....	40
4.3.1	Versetzungsdichtebasierte Fließkurvenmodelle.....	41
4.3.2	Das 3 Interne Variablen Modell - 3IVM.....	45
4.4	Bewertung der Möglichkeiten zur Fließkurvenmodellierung .....	48
<b>5</b>	<b>Zielsetzung und Arbeitsprogramm.....</b>	<b>51</b>
5.1	Zielsetzung .....	51
5.2	Arbeitsprogramm.....	52
<b>6</b>	<b>Grundversuche zur Ver- und Entfestigungsmodellierung .....</b>	<b>53</b>
6.1	Verwendete Aluminiumlegierung für die experimentellen Arbeiten .....	53
6.2	Prüfeinrichtung zur Durchführung von Zylinderstauchversuchen.....	55
6.3	Physikalische Simulation zur Werkstoff- und Prozesscharakterisierung .....	56
6.4	Ermittlung der Fließkurven .....	57
6.4.1	Fließkurven im Bereich der Kaltumformung .....	58
6.4.2	Fließkurven im Bereich der Warmumformung .....	60
6.5	Durchführung von Spannungsrelaxationsversuchen .....	63
6.6	Durchführung und Auswertung der Doppelstauchversuche.....	65
6.7	Bestimmung der Erholungskinetik aus den Doppelstauchversuchen.....	67
6.8	Ergebnisse der Doppelstauchversuche.....	71
6.9	Zusammenfassung und Bewertung der experimentellen Vorarbeiten.....	76
<b>7</b>	<b>Statische Erholung im mehrstufigen Kaltwalzprozess .....</b>	<b>79</b>
7.1	Temperatur- und Fließspannungsentwicklungen in Kaltwalzprozessen.....	79
7.2	Physikalische Simulation eines Kaltwalzprozesses .....	81
7.2.1	Versuchseinrichtungen .....	82
7.3	Vorarbeiten und Werkstoffcharakterisierung.....	84

7.3.1	Vergleichende Fließkurvenaufnahme an vorgewalztem Material .....	87
7.3.2	Variation des Fe-Lösungszustandes.....	88
7.4	Versuchsdurchführung und Auswertung .....	90
7.4.1	Mehrstufiges Kaltwalzen ohne Zwischenglühlung.....	92
7.4.2	Mehrstufiges Kaltwalzen mit Zwischenglühlung bei 230°C .....	95
7.4.3	Mehrstufiges Kaltwalzen mit Zwischenglühlung bei 150°C .....	97
7.5	FE-Simulation des Kaltwalzprozesses .....	101
7.6	Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse.....	103
<b>8</b>	<b>Optimierung eines Fließspannungsmodells mit der FEM .....</b>	<b>105</b>
8.1	Verwendete Software und Optimierungsalgorithmen .....	107
8.2	Motivation zur Entwicklung des Optimierungstools.....	108
8.3	Modularer Aufbau und Funktionsweise des Optimierungstools.....	110
8.4	Vorteile der Struktur des Optimierungstools.....	115
8.5	FE-Simulation des Zylinderstauchversuches in der Optimierung.....	115
8.6	Validierung des Optimierungstools an den bisherigen Ergebnissen .....	120
8.7	Optimierung des VOCE-Fließkurvenmodells für die Legierung AA8079.....	125
8.8	Zusammenfassung und Bewertung der Arbeiten .....	131
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>133</b>
9.1	Zusammenfassung .....	133
9.2	Ausblick .....	135
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>137</b>
	<b>Kurzfassung der Arbeit.....</b>	<b>153</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>155</b>
	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>157</b>