

I. Inhaltsverzeichnis

I. Inhaltsverzeichnis	i
II. Abbildungsverzeichnis	iv
III. Tabellenverzeichnis	viii
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik.....	4
2.1 Definition der Fließspannung.....	4
2.2 Einflussgrößen auf die Fließspannung	5
2.2.1 Einfluss des Werkstoffs.....	5
2.2.2 Fließspannungsbeeinflussende Mikrostrukturphänomene	7
2.2.3 Einfluss der Temperatur.....	8
2.2.4 Einfluss des Umformgrads	9
2.2.5 Einfluss der Umformgeschwindigkeit	11
2.3 Ermittlung von Fließspannung und Mikrostrukturentwicklung im Grundversuch	12
2.3.1 Ermittlung der Fließspannung im Zylinderstauchversuch.....	13
2.3.2 Bestimmung der Mikrostrukturentwicklung.....	17
2.4 Einfluss sich ändernder Umformbedingungen auf die Fließspannung	19
2.4.1 Untersuchungen von Jonas et al. (1971 – 1986)	20
2.4.2 Untersuchungen von Sellars et al. (1974 – 1987)	24
2.4.3 Untersuchungen von Gottstein et al. (2007 – 2014).....	28
2.4.4 Weitere aktuelle Untersuchungsergebnisse (2011 – 2013).....	31
2.5 Beschreibung des Fließverhaltens in der Finite Element Modellierung	34
2.5.1 Modelle zur Beschreibung der Fließspannung bei erhöhten Temperaturen.....	34

2.5.2	Fließkurvenbeschreibung in kommerziellen FEM-Modellierungsprogrammen	36
2.5.3	Mikrostrukturbasiertes Fließspannungsmodell StrucSim.....	37
3	Zielsetzung und Vorgehensweise.....	39
4	Ermittlung eines Fließspannungs- und Mikrostrukturmodells	43
4.1	Einsatzstahl 18CrNiMo7-6	43
4.1.1	Fließkurvenermittlung im Zylinderstauchversuch	43
4.1.2	Mikrostrukturentwicklung	46
4.2	Aluminiumknetlegierung EN AW-6016.....	50
4.2.1	Fließkurvenermittlung im Zylinderstauchversuch	50
4.3	Nickelbasislegierung Alloy 718	52
4.3.1	Fließkurvenermittlung im Zylinderstauchversuch	52
5	Fließverhalten bei wechselnden Umformgeschwindigkeiten	54
5.1	Werkstoff: 18CrNiMo7-6	55
5.1.1	Schlagartiger Wechsel der Umformgeschwindigkeit.....	55
5.1.2	Linearer Wechsel der Umformgeschwindigkeit:	60
5.1.3	Mikrostruktur Entwicklung.....	67
5.2	Werkstoff: EN AW-6016.....	72
5.3	Werkstoff: Alloy 718.....	75
6	Modellierungsansätze für die Abbildung wechselnder Umformbedingungen	77
6.1	Vergleich der Messergebnisse mit der linearen Interpolation	77
6.1.1	Werkstoff: 18CrNiMo7-6:	77
6.1.2	Werkstoff: EN AW-6016	81
6.2	Vergleich der Messergebnisse mit dem Fließspannungsmodell nach Hensel und Spittel [Werkstoff: 18CrNiMo7-6].....	83

6.3 Vergleich der Messergebnisse mit dem StrucSim	
Fließspannungsmodell [Werkstoff: 18CrNiMo7-6].....	86
7 Industrielle Test-Cases [Werkstoff: 18CrNiMo7-6].....	90
7.1 Test-Case: Warmwalzen	91
7.1.1 Prozessmodell	92
7.1.2 Geschwindigkeitsverläufe beim Walzen.....	95
7.1.3 Simulation der Fließspannungsentwicklung im Stauchversuch.....	97
7.1.4 Vergleich der experimentellen und simulativen Ergebnisse.....	97
7.2 Test Case „Gesenkschmieden“	100
7.2.1 Prozessmodell	102
7.2.2 Geschwindigkeitsverläufe beim Gesenkschmieden	104
7.2.3 Simulation der Fließspannungsentwicklung im Stauchversuch.....	105
7.2.4 Vergleich der experimentellen und simulativen Ergebnisse	105
8 Zusammenfassung und Ausblick	109
9 Literaturverzeichnis.....	113