

Inhaltsverzeichnis

Vorabveröffentlichung von Inhalten	i
Externe Ergebnisse und Leistungen	iii
Formelzeichen und Abkürzungen	v
1 Einleitung	1
2 Stand der Kenntnisse	3
2.1 Duktile Schädigung	3
2.1.1 Grundlagen duktiler Schädigung	3
2.1.2 Grundlagen zum Spannungszustand	5
2.1.3 Charakterisierung duktiler Schädigung	7
2.1.4 Einfluss der Schädigung auf die Produkteigenschaften	11
2.2 Schädigungsmodelle	15
2.2.1 Versagenskriterien	16
2.2.2 Konstitutive Schädigungsmodelle	18
2.3 Inverse Parameteridentifikation	22
2.3.1 Grundlagen der inversen Parameteridentifikation	22
2.3.2 Vorhersage der Porenevolution	25
2.4 Maschinelles Lernen	26
2.4.1 Grundlagen neuronaler Netze	26
2.4.2 Anwendung in der Umformtechnik	31
2.5 Fazit	32
3 Zielsetzung	33
4 Grundlagen für die inverse Parameteridentifikation	35
4.1 Charakterisierungsversuche des DP800	36
4.2 Charakterisierungsversuche des 16MnCrS5	40
4.3 Aufbau und Analyse der FE-Modelle	44
4.4 Konstitutive Materialmodelle	46
4.4.1 Lemaitre-Modell	48
4.4.2 GTN-Modell	49
4.5 Entwicklung eines Tools zur Parameteridentifikation	51
4.5.1 Optimierungsprozess	51
4.5.2 Postprocessing und Interpolation	53
4.5.3 Optimierung mit mehreren Zielfunktionen	55
4.6 Details zur Implementierung von ADAPT	56

5	Parameteridentifikation zur Porenvorhersage	57
5.1	Konventionelle inverse Parameteridentifikation	57
5.1.1	Anwendung für den Dualphasenstahl DP800	58
5.1.2	Anwendung für den Einsatzstahl 16MnCrS5	61
5.1.3	Validierung anhand von Porenmessungen	65
5.1.4	Zwischenfazit	67
5.2	Kalibrierung des GTN-Modells anhand von Porenmessungen des DP800	68
5.3	Erweiterung der Methodik auf andere Modelle	69
5.3.1	Anwendung am Beispiel des Lemaitre-Modells für den DP800 .	71
5.3.2	Anwendung für den Einsatzstahl 16MnCrS5	71
5.4	Fazit	73
6	Anwendung auf Umformprozesse	75
6.1	Freibiegen des DP800	75
6.1.1	Experimentelle Daten	75
6.1.2	Aufbau und Analyse des FE-Modells	76
6.2	Vorhersage der Porenentwicklung beim Freibiegen	77
6.3	Voll-Vorwärts-Fließpressen des 16MnCrS5	79
6.3.1	Experimentelle Daten	79
6.3.2	Aufbau und Analyse des FE-Modells	81
6.4	Vorhersage der Porenentwicklung beim Voll-Vorwärts-Fließpressen . .	83
6.5	Fazit	84
7	Porenvorhersage mittels maschinellen Lernens	87
7.1	Generierung der Datenbasis	88
7.1.1	Durchführung und Analyse der Grundversuche	88
7.1.2	Durchführung und Analyse des Biegens	92
7.2	Entwicklung eines Modells für die Porenvorhersage	94
7.2.1	Trainingsstrategien	94
7.2.2	Hyperparameter des neuronalen Netzes	96
7.2.3	Strategien für die Schädigungsvorhersage	97
7.3	Anwendung auf das Biegen	99
7.3.1	Freibiegen	99
7.3.2	RSS-Biegen	101
7.4	Fazit	101
8	Zusammenfassung und Ausblick	103
	Literaturverzeichnis	107
	Anhang	119