

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik und Forschung	3
2.1	Aluminium im modernen Karosseriebau	3
2.2	Werkstofftechnische Grundlagen	6
2.2.1	Plastische Verformung	6
2.2.2	Erholung und Rekristallisation	8
2.3	Aluminiumblechwerkstoffe	11
2.4	Verfahren zur Eigenschaftsänderung von Aluminiumblechformteilen	14
2.4.1	Methoden zur Steigerung der Formgebungsgrenzen	15
2.4.2	Methoden zur Steigerung der Festigkeit	18
2.4.3	Kombinierte Methoden	21
2.5	Werkstoffmodellierung in der Blechumformung	26
2.5.1	Plastizität	26
2.5.2	Duktiles Versagen	32
3	Diskussion, Ableitung der Zielsetzung und methodische Vorgehensweise	43
4	Werkstoffe, Methoden und Anlagen	47
4.1	Untersuchte Werkstoffe	47
4.2	Wärmebehandlung und Temperaturmessung	49
4.2.1	Kontaktplattenerwärmung	49
4.2.2	Ofenerwärmung	50
4.2.3	Lokale Temperaturmessung	51
4.2.4	Thermografie	51
4.3	Werkstoffcharakterisierung	52

4.3.1	Probengeometrien	52
4.3.2	Bestimmung der lokalen plastischen Instabilität bei ebener Verzerrung . .	54
4.3.3	Zugversuch bei Raumtemperatur	55
4.3.4	Zugversuch mit direkter Widerstandserwärmung	55
4.3.5	Zugversuch mit in-situ Kontaktplattenerwärmung	56
4.3.6	Schichtstauchversuch	58
4.3.7	Härtemessung	60
4.3.8	Bruchflächenvermessung	60
4.3.9	Mikrostrukturelle Untersuchungen	61
4.4	Anlagen zur Durchführung von Umformversuchen	61
4.5	Softwaresysteme	63
5	Experimentelle Untersuchungen	65
5.1	Charakterisierung des Lieferzustandes	65
5.1.1	Chemische Zusammensetzung	65
5.1.2	Mikrostruktur	68
5.1.3	Mechanische Eigenschaften	69
5.2	Ermittlung der Prozessgrenzen	74
5.2.1	Kinetik der Erholung	75
5.2.2	Temperaturbedingte Duktilitätszunahme	95
5.2.3	Festlegung der Prozessgrenzen	105
5.3	Charakterisierung des Fließverhaltens	107
5.3.1	Temperatur- und Dehnratenabhängigkeit	107
5.3.2	Temperaturabhängige Anisotropie	109
5.3.3	Einfluss der Erholung auf das Fließverhalten	112
5.4	Charakterisierung des duktilen Versagens	113
6	Werkstoffmodellierung für die nichtisotherme Umformsimulation	121
6.1	Plastizität	121
6.1.1	Verfestigungsverhalten	121
6.1.2	Fließort und Anisotropie	123
6.2	Duktiles Versagen	126
6.2.1	Temperaturabhängige Instabilität	127
6.2.2	Duktiler Bruch	129

7	Werkstoffmodellierung für die Funktionssimulation	135
7.1	Plastizität	135
7.1.1	Verfestigungsverhalten	135
7.1.2	Fließort und Anisotropie	137
7.2	Duktiles Versagen	139
7.2.1	Erholungsabhängige Instabilität	139
7.2.2	Duktiler Bruch	142
8	Untersuchung des FFP anhand einer Bauteilgeometrie	145
8.1	Bauteilauswahl und Funktionsanforderungen	145
8.2	Prozesstechnische Umsetzung und Bewertung der Umformbarkeit	146
8.3	Bewertung der Korrelation zwischen Prozessparametern und Bauteilperformance	151
9	Validierung der Simulationsmodelle	155
9.1	Prozesssimulation	156
9.2	Funktionssimulation	162
9.3	Diskussion	166
10	Zusammenfassung und Ausblick	169
	Literatur	173