

Inhaltsverzeichnis

Formel- und Abkürzungsverzeichnis	viii
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik und Forschung	3
2.1 Aluminium und die Verwendung im Automobilbau	3
2.1.1 Herstellung von Aluminiumblechhalbzeugen	5
2.1.2 Sekundärphasen von Al-Mg-Si-(Cu)-Legierungen	8
2.2 Fertigung und Randbedingungen von Karosserieblechbauteilen	12
2.2.1 Anforderungsprofil an Aluminiumbleche unter seriennahen Bedingungen	15
2.3 Versagensmechanismen von Blechwerkstoffen	19
2.3.1 Versagensprognose in der Blechumformung	20
2.3.2 Bruchkriterien, Schädigungsverhalten und -modellierung	22
2.3.3 Versagen unter biegedominierender Beanspruchung	24
2.4 Zusammenfassende Bewertung	26
3 Zielsetzung und Methodik	29
4 Versuchseinrichtungen, Methoden und Werkstoffe	33
4.1 Werkstoffe	33
4.2 Prozessstrategien für Rohbaukomponenten im Automobilbau	36
4.2.1 Konventionelle Prozessroute für Strukturauteile	36
4.2.2 Prozessroute mit separater Bauteilaushärtung	37
4.2.3 Prozessroute mit teilausgehärtetem Vormaterial	37
4.3 Anlagen zur Wärmebehandlung und Temperaturmessung	37
4.4 Methoden zur Bauteil- und Werkstoffcharakterisierung	38
4.4.1 Uniaxialer Zugversuch	38
4.4.2 Plättchen-Biegeversuch	39
4.4.3 Nakajima-Versuch	40
4.4.4 Hydraulischer Tiefungsversuch	41
4.4.5 Scherzugversuch (SZV) nach Miyauchi	42
4.4.6 Optisches Dehnungsmesssystem ARAMIS	43
4.4.7 Probengeometrien und Präparation	44
4.4.8 Werkzeuge und Pressen für die Umformung	46
4.4.9 Optisches Konturmesssystem ATOS	50
4.5 Methoden zur Charakterisierung der Mikrostruktur	50
4.5.1 Licht- und Rasterelektronenmikroskopie	51
4.5.2 Transmissionselektronenmikroskopie	53

4.5.3	Dynamische Differenzkalorimetrie	53
4.6	Bauteilauslegung in der Finite-Elemente-Simulation.....	56
4.6.1	Materialmodellierung.....	57
5	Definition von Randbedingungen und Prozessparametern für die Auslegungsstrategien	59
5.1	Analyse des Auslagerungsverhalten und der resultierenden mechanischen Eigenschaften für eine Bauteilaushärtung.....	59
5.1.1	Sensitivitätsanalyse der Wärmebehandlungsparameter für die Bauteilaushärtung.....	62
5.2	Eigenschaftsorientierte Prozessfensterermittlung des T61-Zustands.	64
5.3	Analyse der Phasenevolution und Mikrostruktur	66
5.4	Zusammenfassende Bewertung	73
6	Charakterisierung des Werkstoffverhaltens für die Prozessauslegung.....	75
6.1	Mechanische Werkstoffcharakterisierung und Modellierung des Fließverhaltens.....	75
6.1.1	Analyse der Instabilitätsgrenze	76
6.1.2	Analyse der Versagensgrenze (Bruch)	84
6.1.3	Analyse der Umformbarkeit in Tiefziehversuchen	94
6.1.4	Materialmodellierung für die numerische Simulation	97
6.1.5	Validierung der Materialmodelle	101
6.2	Sensitivitätsanalyse der Verarbeitungsprozesse auf die mechanischen Eigenschaften	104
6.2.1	Konventionelle Prozessroute (T4Route).....	105
6.2.2	Prozessroute mit einer Bauteilaushärtung (PFHTRoute)	111
6.2.3	Prozessroute mit teilausgehärtetem Material (T61Route)	117
6.3	Zusammenfassung Prozessbewertung	121
6.3.1	Konventionelle Prozessroute.....	122
6.3.2	Prozessroute mit einer Bauteilaushärtung.....	124
6.3.3	Prozessroute mit teilausgehärtetem Material	126
7	Prozessfenster hochfester Aluminiumblechwerkstoffe für den Karosseriebau	129
7.1	Prozessgrenzen hinsichtlich der Legierung	129
7.2	Prozessgrenzen hinsichtlich des Umformens	132
7.3	Prozessgrenzen hinsichtlich des Deformationsverhaltens	134
7.4	Prozessgrenzen hinsichtlich der Bauteileigenschaften.....	136
7.5	Handlungsempfehlung zur Charakterisierung hochfester Aluminiumblechwerkstoffe	138

8	Prozessanalyse und -bewertung anhand eines Strukturauteils unter Serienbedingungen	145
8.1	Simulationsgestützte Absicherung des Umformprozesses	146
8.2	Experimentelle Verifizierung am Versuchswerkzeug B-Säule	148
8.3	Bewertung des Bauteilverzugs	149
8.4	Bewertung der Bauteileigenschaften.....	150
9	Zusammenfassung und Ausblick	153
10	Summary and outlook.....	157
	Anhang	161
	Literaturverzeichnis	167