

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik und Forschung	3
2.1 Leichtbaupotential hochfester Aluminiumlegierungen	3
2.2 Grundlagen ausscheidungshärtbarer Aluminiumlegierungen	5
2.2.1 Festigkeitssteigernder Mechanismus	6
2.2.2 Legierungssystem der 6xxx-Serie	8
2.3 Methode der Kurzzeit-Wärmebehandlung zur Erweiterung der Formgebungsgrenzen	9
2.3.1 Zugrundeliegende Wärmebehandlungsmechanismen	10
2.3.2 Anwendung von Tailor Heat Treated Blanks	16
2.4 Verfahrensklasse der Blechmassivumformung	17
2.4.1 Verfahrensdefinition und Grundlagen	18
2.4.2 Herausforderungen und Potentiale eines dreidimensionalen Stoffflusses	19
2.5 Taumeln von Funktionsbauteilen	21
2.5.1 Historische Entwicklung	21
2.5.2 Prozessgrundlagen	22
2.5.3 Einfluss der Taumelkinematik	24
2.5.4 Spannungs- und Formänderungszustände	25
2.5.5 Prozessgrenzen und Versagensfälle	27
2.5.6 Maßnahmen zur Stoffflusssteuerung im Taumelprozess	28
2.5.7 Anwendungsbeispiele und aktuelle Entwicklungen	29
2.6 Zusammenfassende Bewertung des Standes der Technik und Forschung	31
3 Zielsetzung und methodische Vorgehensweise	33
4 Werkstoffe, Versuchsanlagen und Auswertemethoden	37
4.1 Eingesetzte Werk- und Schmierstoffe	37
4.2 Methode zur lokalen Kurzzeit-Wärmebehandlung	38
4.3 Umformtechnische Anlagen und Werkzeuge	39
4.3.1 Hydraulische Tiefziehpresse mit Taumelfunktion	40
4.3.2 Taumelwerkzeug	41
4.4 Versuchsauswertung und Messmethoden	43
4.4.1 Geometriebasierte Auswertung	43

4.4.2	Werkstoffcharakterisierung der verschiedenen Werkstoffzustände bei Raumtemperatur.....	43
4.4.3	Stoffflussanalyse mittels optischer Dehnungsmessung	46
4.5	Finite-Elemente Simulation des Taumelprozesses.....	47
5	Erarbeitung einer spannungs- und stoffflussbasierten Modellvorstellung des Taumelprozesses	49
5.1	Numerisch-experimentelle Untersuchung zum Taumeln von Aluminium.....	50
5.2	Identifikation und Bewertung von festigkeitsabhängigen Prozessgrenzen.....	56
5.3	Spannungs- und stoffflussbasierte Modellvorstellung des Taumelprozesses	58
6	Qualifizierung einer Wärmebehandlungsstrategie für die Blechmassivumformung	65
6.1	Analyse der Wechselwirkung zwischen Wärmebehandlung, Umformprozess und Werkstoffeigenschaften	65
6.1.1	Einfluss einer Kurzzeit-Wärmebehandlung auf die mechanischen Eigenschaften	67
6.1.2	Wirkungsweise von hohen Umformgraden auf die resultierenden mechanischen Eigenschaften	72
6.1.3	Überlagerung der Wärmebehandlung mit nachfolgend eingebrachten Umformgraden.....	78
6.1.4	Einfluss hoher Umformgrade auf das Auslagerungsverhalten nach einer Kurzzeit-Wärmebehandlung.....	83
6.1.5	Zusammenfassende Bewertung der Wirkungsweise entlang der gesamten Prozesskette	90
6.2	Qualifizierung der Kurzzeit-Wärmebehandlung für die lokale Eigenschaftsgradierung	92
6.3	Zusammenfassende Bewertung	103
7	Einsatz einer Kurzzeit-Wärmebehandlung zur Stoffflusssteuerung im Taumelprozess	111
7.1	Einsatz wärmebehandelter Platinen im Taumelprozess und Ableitung der Wirkmechanismen	113
7.2	Bewertung der Wirkmechanismen hinsichtlich einer gesteigerten Geometriekomplexität.....	125
7.2.1	Nachweis der Skalierbarkeit durch Vergrößerung des Bauteildurchmessers	126

7.2.2	Übertragbarkeit auf beidseitig angebrachte Funktionselemente	134
7.2.3	Einfluss einer variierenden radialen Position der Kavität auf den Spannungs- und Formänderungswiderstand	140
7.3	Ganzheitliche spannungs- und stoffflussbasierte Prozessbewertung	149
7.4	Ableitung einer Auslegungsmethode zur Stoffflusssteuerung in der Blechmassivumformung	153
8	Erkenntnistransfer und Qualifizierung der Einsatzeigenschaften	159
8.1	Übertragung der Erkenntnisse auf eine industrierelevante Demonstratorgeometrie	159
8.2	Qualifizierung der Einsatzeigenschaften	167
9	Zusammenfassung und Ausblick	173
10	Summary and outlook	177
11	Literaturverzeichnis	181