

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>ix</b>
<b>1     Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2     Stand der Technik und Forschung .....</b>	<b>3</b>
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
<b>3     Zielsetzung und methodische Vorgehensweise .....</b>	<b>33</b>
<b>4     Werkstoffe, Versuchsanlagen und Auswertemethoden .....</b>	<b>37</b>
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
<b>5</b>	<b>Erarbeitung einer spannungs- und stoffflussbasierten Modellvorstellung des Taumelprozesses .....</b>	<b>49</b>
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
<b>6</b>	<b>Qualifizierung einer Wärmebehandlungsstrategie für die Blechmassivumformung .....</b>	<b>65</b>
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
<b>7</b>	<b>Einsatz einer Kurzzeit-Wärmebehandlung zur Stoffflusssteuerung im Taumelprozess .....</b>	<b>111</b>
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
<b>8</b>	<b>Erkenntnistransfer und Qualifizierung der Einsatzigenschaften .....</b>	<b>159</b>
8.1	Übertragung der Erkenntnisse auf eine industrierelevante Demonstratorgeometrie .....	159
8.2	Qualifizierung der Einsatzigenschaften .....	167
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>173</b>
<b>10</b>	<b>Summary and outlook.....</b>	<b>177</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>181</b>