

# 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 Warmumformung von höchstfesten Vergütungsstählen .....	3
2.2 Verfahrenstechnologien der Warmumformung.....	5
2.2.1 Direkte Warmumformung.....	5
2.2.2 Indirekte Warmumformung.....	6
2.2.3 Gradierte Bauteileigenschaften in der Warmumformung.....	7
2.2.4 Alternative Prozesstechnologien der Warmumformung .....	9
2.3 Werkstoffkonzepte für die Warmumformung.....	11
2.3.1 Mangan-Bor-Stähle in der Warmumformung .....	11
2.3.2 Mikrolegierte Stähle in der Warmumformung.....	14
2.3.3 Alternative Werkstoffkonzepte für die Warmumformung .....	15
2.4 Halbzeugbeschichtungen in der Warmumformung .....	18
2.4.1 Aluminium-Silizium-Beschichtung .....	18
2.4.2 Zink-Beschichtung.....	19
2.5 Numerische Simulation des Presshärteprozesses.....	20
2.5.1 Thermomechanische Prozessrandbedingungen .....	21
2.5.2 Werkstoffkenngrößen .....	25
2.6 Zusammenfassende Bewertung des Stands der Technik und Forschung.....	28
<b>3 Zielsetzung und Methodik.....</b>	<b>31</b>
<b>4 Verwendete Versuchswerkstoffe, Versuchseinrichtungen und Software .....</b>	<b>33</b>
4.1 Verwendete Versuchswerkstoffe .....	33
4.2 Verwendete Versuchseinrichtungen und experimentelle Methoden.....	36
4.2.1 Methode zur Ermittlung des Abkühlverhaltens einer TRB®-Platine .....	36
4.2.2 Methode zur Charakterisierung des Warmzugverhaltens .....	37
4.2.3 Methode zur Analyse der Umformeigenschaften.....	38
4.2.4 Methode zur Charakterisierung der Gefügeumwandlung.....	39
4.2.5 Methoden zur Analyse der resultierenden Gefügeeigenschaften .....	44
4.2.6 Simulative Methoden zur Validierung der ermittelten Ergebnisse.....	45

<b>5</b>	<b>Abkühlverhalten eines Tailor Rolled Blanks im Prozess der direkten Warmumformung .....</b>	<b>49</b>
5.1	Ermittlung der Emissionsgrade der eingesetzten TRB®-Halbzeuge.....	49
5.2	Berechnungsansatz zur Bestimmung der Umformstarttemperatur.....	52
5.3	Validierung der Annahmen des einfachen Berechnungsmodells anhand einer Finite-Elemente Simulation des Abkühlverhaltens.....	66
<b>6</b>	<b>Bewertung und Auswahl alternativer Werkstoffsysteme .....</b>	<b>71</b>
6.1	Gegebene Randbedingungen aus der Funktions- und Prozessauslegung.....	71
6.1.1	Ableitung der Werkstoffanforderungen aus der Bauteilfunktionsauslegung .....	71
6.1.2	Ableitung der Werkstoffanforderungen aus der geplanten Zielprozessführung .....	75
6.2	Ermittlung und Bewertung der Werkstoffkenngrößen .....	82
6.3	Auswahl und Vorstellung des ausgewählten Werkstoffsystems.....	99
<b>7</b>	<b>Effiziente Ermittlung der Werkstoffumformeigenschaften ....</b>	<b>103</b>
7.1	Experimentelle Untersuchung der Warmfließeigenschaften .....	104
7.2	Bewertung und Extrapolation der Warmfließeigenschaften .....	106
7.3	Ermittlung der Fließortkurve zur Beschreibung des Fließbeginns .....	110
<b>8</b>	<b>Effiziente Ermittlung der Gefügeumwandlungskinetik .....</b>	<b>115</b>
8.1	Einfluss des flexiblen Walzens auf die Gefügeumwandlung .....	115
8.2	Korrelation Versuchsaufbau zur Anforderung des Referenzprozesses .....	121
8.3	Beschreibung der resultierenden Gefügeumwandlung .....	124
8.3.1	Ermittlung und Beschreibung der diffusionslosen Umwandlungskinetik .....	125
8.3.2	Ermittlung und Beschreibung der diffusionsabhängigen Umwandlungskinetik .....	128
<b>9</b>	<b>Validierung der erarbeiteten Methode zur Werkstoffauswahl .....</b>	<b>137</b>
9.1	Validierung der Umformeigenschaften am Napfzugversuch .....	138
9.2	Validierung der Gefügeumwandlungskinetik für kontinuierliche Abkühlraten .....	150
9.3	Validierung der Methode am ausgewählten Referenzbauteils .....	158
<b>10</b>	<b>Vorgehensweise zur Auswahl und Charakterisierung eines alternativen Werkstoffsystems in der Warmumformung .....</b>	<b>169</b>
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>173</b>
<b>12</b>	<b>Summary and Outlook.....</b>	<b>177</b>

Literaturverzeichnis.....	181
Anhang.....	201