

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnisix

1 Einleitung 1

2 Stand der Technik und Forschung..... 3

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 Warmumformung11

2.3.2 Mikrolegierte Stähle in der Warmumformung.....14

2.3.3 Alternative Werkstoffkonzepte für die Warmumformung15

2.4 Halbzeugbeschichtungen in der Warmumformung18

2.4.1 Aluminium-Silizium-Beschichtung18

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

3 Zielsetzung und Methodik.....31

4 Verwendete Versuchswerkstoffe, Versuchseinrichtungen und
Software 33

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

5	Abkühlverhalten eines Tailor Rolled Blanks im Prozess der direkten Warmumformung	49
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
6	Bewertung und Auswahl alternativer Werkstoffsysteme	71
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
7	Effiziente Ermittlung der Werkstoffumformeigenschaften	103
7.1	Experimentelle Untersuchung der Warmfließseigenschaften	104
7.2	Bewertung und Extrapolation der Warmfließseigenschaften	106
7.3	Ermittlung der Fließortkurve zur Beschreibung des Fließbeginns	110
8	Effiziente Ermittlung der Gefügeumwandlungskinetik	115
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
9	Validierung der erarbeiteten Methode zur Werkstoffauswahl	137
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
10	Vorgehensweise zur Auswahl und Charakterisierung eines alternativen Werkstoffsystems in der Warmumformung	169
11	Zusammenfassung und Ausblick	173
12	Summary and Outlook	177

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