

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis	ix
Bildverzeichnis	xiii
Tabellenverzeichnis	xix
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Modellierung des plastischen Umformverhaltens	3
2.1.1 Isotrope Fließbedingungen	3
2.1.2 Anisotrope Fließbedingungen	4
2.1.3 Kalibrierung von Fließbedingungen	7
2.1.4 Fließkurvenextrapolation	8
2.1.5 Texturentwicklung	9
2.2 Charakterisierung des Umformverhaltens	11
2.2.1 Fließkurvenermittlung	11
2.2.2 Aufnahme anisotroper Kennwerte	20
2.2.3 Dehnratensensitivität	23
2.2.4 Umformvermögen	24
2.2.5 Validierung von Materialdaten	26
2.3 Verpackungsstahl	27
2.3.1 Herstellungsverfahren und Zusammensetzung	27
2.3.2 Verhalten im Zugversuch	29
2.3.3 Charakterisierung für die FE-Simulation	31
2.4 Bewertung des Stands der Technik	32
3 Zielsetzung und Methodik	35
4 Untersuchte Werkstoffe und verwendete Anlagen	37
4.1 Werkstoffe	37
4.2 Variation von Zugversuchsparametern	39
4.2.1 Probengeometrie	40
4.2.2 Probenherstellungsverfahren	42
4.2.3 Prüfgeschwindigkeit	43
4.3 Tiefungsversuche	44
4.4 Zugversuche im ebenen Verformungszustand	45
4.5 Texturuntersuchungen	46
4.6 Rotationssymmetrischer Napfzug	46

4.7	Validierung	48
5	Charakterisierung der Fließ- und Verfestigungseigenschaften	51
5.1	Fließkurve im uniaxialen Zugversuch	51
5.1.1	Einfluss der Probengeometrie	52
5.1.2	Einfluss der Probenherstellung	56
5.1.3	Prüfgeschwindigkeit	63
5.1.4	Bestimmung der Fließkurve in der Einschnürzone .	67
5.2	Fließkurve im biaxialen Streckziehen	69
5.3	Fließkurvenextrapolation	71
6	Charakterisierung der anisotropen plastischen Werkstoffeigenschaften	75
6.1	Identifikation des anisotropen Umformverhaltens mittels Texturdaten und Zipfelbildung	76
6.1.1	Zipfligkeit im Napfzug	76
6.1.2	Einfluss des Gesamtwalzgrades auf die Zipfligkeit .	78
6.1.3	Textur von Verpackungsstählen	79
6.1.4	Abbildung der Zipfligkeit aus Texturdaten	82
6.2	Bestimmung der r-Werte von Verpackungsstahl	84
6.2.1	r-Wert im Zugversuch	84
6.2.2	Analytischer Ansatz zur Bestimmung des r-Werts aus dem Napfprofil	91
6.2.3	Inverse r-Wert Ermittlung aus dem Napfprofil . . .	93
6.2.4	Bewertung der vorgestellten r-Wert Bestimmungsverfahren	100
6.3	Charakterisierung des Fließverhaltens im Bereich ebener und biaxialer Dehnung	103
6.3.1	Bestimmung biaxialer Anisotropie aus dem Tiefungsversuch	104
6.3.2	Streckziehen	105
6.3.3	Ebener Verformungszustand	107
6.4	Vergleich verschiedener Modellierungsansätze	114
7	Validierung	119
7.1	Materialkarten für die Simulation in LS-DYNA	119
7.2	Verformungspfade in Verpackungsstahlanwendungen . . .	120
7.2.1	Aerosolkomponenten	122
7.2.2	Tiefziehanwendungen	125
7.2.3	Standard Dosendeckel	126

7.3	Abgeleitete Validierungsexperimente	127
7.3.1	Limited Dome Height Experimente	128
7.3.2	Rotationssymmetrischer Napfzug	135
7.3.3	Vier-Radien Napf	140
7.3.4	Vergleich der Validierung	144
7.4	Validierung am realen Bauteil	149
8	Zusammenfassung und Ausblick	153
9	Summary and Outlook	157
10	Anhang	159
10.1	Materialkarten	159
10.2	Inverse Auswertung	162
10.3	Verformungspfade	164
10.4	Texturmodell Inagaki	170
10.5	Temperaturmessung Hochgeschwindigkeitsversuche . . .	172
10.6	Validierung	173
	Literaturverzeichnis	177