

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	9
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	16
Abkürzungsverzeichnis und Formelzeichen	17
1 Einleitung	21
2 Stand der Technik	22
2.1 Hoch- und höchstfeste Stahlblechwerkstoffe	22
2.2 Rückfederung – Ursache und Wirkung	24
2.3 Maßnahmen zur Rückfederungskompensation	28
2.3.1 Geometrische Maßnahmen zur Kompensation der Rückfederung	28
2.3.2 Prozessseitige Maßnahmen zur Kompensation der Rückfederung	29
2.4 Fazit zum Stand der Technik	31
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	32
3.1 Zielsetzung	32
3.2 Vorgehensweise	32
4 Werkstoffcharakterisierung und Modellierung	35
4.1 Zugversuch	35
4.2 Bulge-Test	36
4.3 Nakajima-Versuch (FLC)	37
4.4 Scherversuche mit Lastumkehr	38
4.5 Modellierung und Kalibrierung	39
4.5.1 Fließkurve	39
4.5.2 Reduktion des Elastizitätsmoduls	40
4.5.3 Kinematische Verfestigung (Yoshida-Uemori)	41
4.5.4 Verifizierung des Werkstoffmodells	43
5 Numerische Simulationsstudie zur Sensitivitätsanalyse der Werkzeug- und Prozessparameter	46
5.1 Parametrisiertes Simulationsmodell	46
5.2 Spannungszustand beim wechselseitigen Tiefziehen	49
5.3 Sensitivitätsanalyse	51
5.3.1 Einfluss der Flächenpressung auf die Platineneinlaufkinematik	51
5.3.2 Einfluss des Ziehtiefenverhältnisses auf das wechselseitige Tiefziehen	55
5.3.3 Einfluss der Werkzeuggradienten auf die Platineneinlaufkinematik und Rückfederung	57
5.3.4 Zusammenfassung der Einflüsse von Werkzeug- und Prozessparametern	60
6 Simulative Prozessauslegung für ein realitätsnahes Bauteil	62

6.1	Simulationsmodell.....	62
6.2	Gegenüberstellung zum konventionellen Tiefziehen	63
6.3	Einfluss der Stufenanzahl auf das Umformergebnis	65
7	Konstruktive Umsetzung der Versuchstechnik	70
7.1	Distanzierung Blechhalter	70
7.2	Schneideinheit	71
7.3	Messaufnahme	72
8	Experimentelle Untersuchungen zum Tiefziehen mit wechselseitigem Platineneinlauf	73
8.1	Probengeometrie, Versuchswerkzeug und Messtechnik	73
8.2	Parametervariation und Versuchsablauf	75
8.3	Einfluss des Ziehtiefenverhältnisses auf die Platineneinlaufkinematik und Rückfederung	76
8.4	Einfluss der Distanzierung auf die Platineneinlaufkinematik	77
8.5	Einfluss der Blechhalterkraft auf die Platineneinlaufkinematik	77
8.6	Einfluss der Schmierstoffmenge auf die Platineneinlaufkinematik	78
8.7	Tiefziehen und wechselseitiges Tiefziehen der S-Rail Geometrie	79
9	Numerische Analyse der Prozessgrenzen	82
9.1	Betrachtung bauteilgeometrischer Einflüsse	82
9.2	Anwendungsbeispiel „Mini-Tunnel“	84
9.3	Anwendungsbeispiel „Längsträger“	87
10	Zusammenfassung und Ausblick	90
10.1	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Ergebnisse für KMU	92
11	Literaturverzeichnis	94
12	Anhang	97