

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	9
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	18
Abkürzungsverzeichnis und Formelzeichen	19
1 Einleitung	21
1.1 Ausgangssituation	21
1.2 Zielsetzung	22
1.3 Lösungsweg	23
2 Experimentelle Werkstoffcharakterisierung	25
2.1 Werkstoffe	25
2.2 Rückstreuелектроненbeugung	25
2.3 Zugversuche	30
2.4 Hydraulische Tiefungsversuche	32
3 Identifizierung von Parametern für anisotrope 3D-Fließortmodelle mittels virtueller Versuche	34
3.1 Einführung virtuelle Versuche	34
3.2 Verwendetes Einkristallplastizitätsmodell	35
3.3 Anwendung auf Aluminiumlegierung AA6014-T4	36
3.4 Anwendung auf Tiefziehstahl DX56D	39
3.5 Erweiterung von »virtuellen Versuchen« auf Dualphasenstähle	42
3.6 Anwendung auf Dualphasenstahl HCT780X	44
4 Weiterentwicklung der erweiterten Schalenelemente	48
4.1 Schalenmodelle und finite Schalenelemente	48
4.2 Für die Blechumformung relevante Schalenmodelle	49
4.3 3D-Schalenelement höherer Ordnung	50
4.4 Maßnahmen zur Behebung von Versteifungseffekten in der Schalenebene	52
4.5 Maßnahmen zur Reduktion der Rechenzeit pro Zeitschritt	54
4.5.1 Reduzierte Integration	54
4.5.2 3D-Schalenelemente höherer Ordnung mit reduzierten Deformationsmoden	54
4.5.3 Effiziente Transformation der velocity strains	55
4.5.4 Vergleich der numerischen Effizienz pro Zeitschritt	56
4.6 Maßnahmen zur Vergrößerung des kritischen Zeitschritts	58
4.6.1 Massenskalierung	58
4.6.2 Hexaeder-Zeitschrittschätzung und datenbasierte Zeitschrittschätzung	61
4.7 Gemischte Netze und Modelladaptivität	64

4.7.1	Kopplung der Freiheitsgrade	64
4.7.2	Kopplung der Fließortmodelle	71
4.7.3	Position der Kopplung	74
5	Vereinfachende Annahmen in kommerziellen Programmen und Einfluss der Elementgröße	79
5.1	Untersuchung vereinfachender Annahmen in kommerziellen Finite-Elemente-Programmen	79
5.1.1	Einzel-Element-Tests	79
5.1.2	Multi-Element-Tests	82
5.2	Untersuchungen zum Einfluss der Elementgröße	86
5.2.1	Problembeschreibung	86
5.2.2	Ergebnisse zum Einfluss der Elementgröße	87
6	Experimentelle Modellversuche	90
6.1	Zugversuche mit DIC-Messung	90
6.2	Streckbiegeversuche	92
7	Bewertung der Simulation von Umformprozessen mittels 3D-Blechmodellierung	94
7.1	Uniaxialer Zugversuch	94
7.2	3-Punkt-Biegeversuch	97
7.3	Hydraulischer Tiefungsversuch	99
7.4	Hutprofil mit Doppelsicke	102
7.5	Streckbiegeversuch	108
7.6	Karosseriebauteil RWU-80	113
8	Bewertung der Ergebnisse	116
8.1	Arbeitsschwerpunkt „3D-Werkstoffmodellierung“ (Fraunhofer IWM)	116
8.2	Arbeitsschwerpunkt „Weiterentwicklung der Schalenformulierung“ (IBB)	117
8.3	Arbeitsschwerpunkt „Prognosequalität der 3D-Blechmodellierung“ (Fraunhofer IWM & IBB)	117
9	Ergebnisse und Ausblick	120
9.1	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Ergebnisse für KMU	120
10	Literatur	121