

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Variablen, Symbole und Abkürzungen	7
1 Einleitung	9
2 Stand der Technik und der Forschung	11
2.1 Presswerke der Automobilindustrie	11
2.1.1 Bauteilentstehungsprozess	11
2.1.2 Qualitätskontrolle	13
2.1.3 Werkzeug- und Anlagentechnik	14
2.2 Umformprozess	16
2.2.1 Versagensarten der Ziehtteile und deren Entstehung	17
2.2.2 Einflussgrößen des Umformprozesses im Serienprozess	19
2.3 Mess- und regelungstechnische Ansätze	24
2.3.1 Prozessüberwachungssysteme	24
2.3.2 Regelungssysteme	32
2.4 Blechumformsimulation	35
2.4.1 Entwicklung der Umformsimulation und Einteilung der Modelle nach deren Komplexität	35
2.4.2 Einsatz der komplexen Simulationsmodelle	38
2.4.3 Einsatz der Umformsimulation zur Robustheitskontrolle des Prozesses	39
2.4.4 Grenzen der simulativen Abbildbarkeit des Prozesses anhand von Simulationen nach DoE	41
2.5 Zusammenfassende Bewertung des Stands der Technik und der Forschung	42
3 Zielsetzung und Lösungsmethodik	45
4 Verwendete Software, Messtechnik und Versuchsmethoden	47
4.1 Untersuchtes Serienbauteil	47
4.1.1 Verwendeter Blechwerkstoff	47
4.1.2 Produktionsanlage und Werkzeug	48
4.2 Finite-Elemente-Simulation	50
4.2.1 Verwendete Software für die Simulationen des Serienbauteils	50
4.2.2 Verwendete Validierungsmethoden für die Simulation	51

4.3	Messtechnik	52
4.3.1	Messprinzip des Wirbelstrommesssystems	52
4.3.2	Messprinzip induktiver Sensoren	52
5	Simulative Analyse des Umformprozesses mithilfe einer DoE-Studie	55
5.1	Aufbau und Validierung einer Basissimulation	55
5.1.1	Werkstoffmodellierung	55
5.1.2	Aufbau der Basissimulation	57
5.1.3	Validierung der Basissimulation	58
5.2	Simulationen nach statistischem Versuchsplan	59
5.2.1	Datengrundlage für eine DoE-Studie	59
5.2.2	Verwendeter Versuchsplan	67
5.2.3	Ergebnisse der Simulationen nach statistischem Versuchsplan	68
5.3	Ableitung der notwendigen Messparameter für den realen Prozess	72
6	Gesamtheitliches Messsystem	73
6.1	Messbare Parameter in der Serienproduktion	73
6.2	Aufbau eines Messsystems zur Bestimmung der Ziehrandlage	74
6.2.1	Auswahl des Messprinzips	75
6.2.2	Entwicklung des Messsystems	77
6.2.3	Integration im Blechhalter des Serienwerkzeugs	81
6.2.4	Ergebnisse der Ziehrandmessung und Umrechnung der Einheiten	83
6.3	Wirbelstrommessverfahren	86
6.3.1	Implementierung an der Platinenschneidanlage	86
6.3.2	Genauigkeit des Messsystems und Messergebnisse der inline Messungen bei DC06	87
6.4	Erfassung der Pressen- und Werkzeugparameter	89
6.5	Zusammenführung der Messgrößen zu einem Gesamtsystem	90
7	Charakterisierung des Serienprozesses und Schließen des Regelkreises	93
7.1	Analyse der Einflussparameter des Serienprozesses	93
7.1.1	Untersuchung der Pressen- und Werkzeugeinflüsse	94
7.1.2	Temperaturmessung des Blechhalters	96
7.1.3	Mechanische Eigenschaften des Materials	99
7.1.4	Analyse der erfassten Parameter im zeitlichen Verlauf	102
7.2	Mögliche Kontroll- und Stellgrößen des Prozesses	106
7.3	Substitution des messtechnischen Gesamtsystems	108
8	FE-Simulationen zur Abbildung des Serienumformprozesses	111
8.1	Temperatur- und Dehnratenabhängigkeit des Materials	113

8.2	Prozesspunkte aus der realen Abpressung	114
8.3	Thermo-mechanisches <i>Advanced I</i> -Modell	117
8.3.1	Aufbau eines thermo-mechanischen <i>Advanced I</i> -Modells	117
8.3.2	Ergebnisse des thermo-mechanischen <i>Advanced I</i> -Modells	120
8.4	Simulative Abbildbarkeit der Realität	122
8.4.1	Simulationen mit dem <i>Basic</i> -Modell	122
8.4.2	Vergleich des <i>Basic</i> - und des <i>Advanced I</i> -Modells mit den realen Bauteilen	124
8.4.3	Bewertung der Abbildbarkeit der Realität	127
8.5	Vorschlag zur Verbesserung der simulativen Abbildbarkeit	128
9	Konzept zur Beherrschung der prozessbedingten Schwankungen	131
9.1	Regelungskonzept auf Basis statistisch erfasster Kennfelder	131
9.2	Zukunftsvision: simulativ-gestütztes Regelungskonzept	133
10	Zusammenfassung und Ausblick	137
11	Summary and Outlook	141
12	Literaturverzeichnis	145
Anhang		161