

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....I

Formelzeichen und AbkürzungenV

1 Einleitung 1

2 Grundlagen der Umformtechnik 4

2.1 Der Umformprozess von Karosserieblechteilen 4

2.2 Tribologie beim Tiefziehen 6

2.3 Ansätze zur Modellierung von Reibung..... 8

2.4 Einflussgrößen des Serienumformprozesses..... 11

2.5 Versagensarten und Qualitätsmängel von Karosserieblechteilen..... 13

2.5.1 Virtuelle Beurteilung von Reißen 17

2.5.2 Virtuelle Beurteilung von Falten 18

2.5.3 Virtuelle Beurteilung sonstiger Fehler 19

2.6 Ansätze zur Erhöhung der Prozessrobustheit..... 20

2.6.1 Einsatz von Simulationen zur Robustheitsoptimierung 21

2.6.2 Halbzeugsensoren 24

2.6.3 Werkstücksensoren..... 25

2.6.4 Produktsensoren 27

2.6.5 Einsatz von Aktoren während des Ziehprozesses 28

2.6.6 Einsatz von Aktoren im Serienumformprozess 29

2.6.7 Steuerungs- und Regelungsstrategien 31

2.7 Assistenzsysteme in der Produktionstechnik 35

2.7.1 Einordnung im Rahmen von Industrie 4.0..... 35

2.7.2 Assistenzsysteme in der Fertigung 36

3	Grundlagen der Stochastik und des maschinellen Lernens.....	40
3.1	Grundlagen der Regressionsanalyse	40
3.2	Maschinelles Lernen	41
3.2.1	Grundlagen künstlicher neuronaler Netze	43
3.2.2	Training künstlicher neuronaler Netze	45
3.3	Methoden der Sensitivitätsanalyse.....	45
3.3.1	Varianzbasierte globale Sensitivitätsanalyse nach Sobol.....	47
4	Motivation und Zielsetzung	49
4.1	Motivation	49
4.2	Zielsetzung	51
5	Vorgehensweise	53
5.1	Prozessanalyse	53
5.2	Implementierung des Bedienerassistenzsystems	60
6	Anwendungsbeispiel und Fertigungsprozess.....	63
6.1	Untersuchtes Bauteil	63
6.2	Blechwerkstoff	63
6.3	Ziehwerkzeug und Fertigungsprozess	65
7	Analyse stochastisch schwankender Prozessparameter	68
7.1	Werkstoffkennwerte von CR180B2	69
7.2	Dicke der Blechplatte.....	74
7.3	Tribologisches System	76
7.3.1	Schmiermittelaufgabe und -verteilung	77
7.3.2	Oberflächenfeingestalt der Blechplatte und des Werkzeugs ...	79
7.3.3	Reibungskoeffizient.....	82
7.4	Platinenposition und Platinenmaße.....	85
7.5	Fazit.....	86

8	Variantsimulationen und Metamodellierung	87
8.1	Numerische Abbildung des Umformprozesses	87
8.1.1	Validierung der Basissimulation	92
8.1.2	Auswahl der Qualitätsmerkmale	94
8.1.3	Generierung und Auswahl fähiger Metamodelle	98
9	Opportunität eines Assistenzsystems	104
9.1	Varianzbasierte Sensitivitätsanalyse nach Sobol	104
9.2	Robustheit	108
9.3	Steuerbarkeit und Kompensation	112
9.3.1	Experimentelle Analyse der Steuerbarkeit	112
9.3.2	Virtuelle Analyse der Steuerbarkeit	115
9.4	Beobachtbarkeit	120
9.5	Fazit	125
10	Umsetzung eines Bedienerassistenzsystems	126
10.1	Bewertung und Auswahl relevanter Sensorsysteme	126
10.2	Prozessüberwachung durch Identifikation des Bauteilzustandes	130
10.2.1	Einfluss der Temperatur auf den Blechkanteneinzug	131
10.2.2	Warn- und Eingriffsgrenzen des Ziehprozesses	136
10.3	Modell zur Entscheidungsunterstützung	138
10.4	Erprobung des Bedienerassistenzsystems	141
10.5	Fazit	145
11	Zusammenfassung	147
12	Literaturverzeichnis	151
13	Anhang	175
13.1	Berücksichtigung von Reibmodellen in FEM	175
13.2	Ergänzungen zu Kapitel 2.6	177
13.3	Prozessfähigkeit und Fehlerquote	178

13.3.1	Prozesspotential	178
13.3.2	Kritische Prozessfähigkeit.....	178
13.3.3	Fehlerquote.....	178
13.4	Ergänzungen zu Kapitel 3.2	179
13.5	Ergänzungen zu Kapitel 3.3	179
13.6	Ergänzungen zu Kapitel 7.1	181
13.7	Ergänzungen zu Kapitel 9.3	182
13.8	Ergänzungen zu Kapitel 10.1	184
13.9	Ergänzungen zu Kapitel 10.2	184
13.10	Ergänzungen zu Kapitel 10.3	185
13.11	Ergänzungen zu Kapitel 10.4	186