

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	i
Abkürzungsverzeichnis.....	vi
Formelzeichen.....	vi
Kurzfassung	ix
Abstract	x
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik.....	5
2.1 Stanztechnik – ein Fertigungsverfahren für die flexible Blechteilefertigung	5
2.1.1 Scherschneidvorgang und charakteristische Prozessgrößen	11
2.1.2 Schnittteilqualität in der flexiblen Blechteilefertigung	16
2.1.3 Schneidkraft und Kraft-Weg-Verlauf.....	20
2.1.4 Werkzeugverschleiß beim Scherschneiden	25
2.1.5 Signifikante Einflussgrößen auf den Fertigungsprozess und das Stanzergebnis	27
2.2 Kompensation von Qualitätseinbußen durch die Tellerbildung.....	29
2.2.1 Vermeidungskonzepte der Tellerbildung während des Scherschneidprozesses	30
2.2.2 Bauteilgeometriebezogene Korrekturverfahren nach dem Scherschneidprozess	31
2.3 Data-Mining und Maschinelles Lernen in Produktionsprozessen.....	32
2.3.1 Grundlagen des Maschinellen Lernens	33
2.3.2 Erprobte Methoden der Klassifikation und der Regression	35
2.3.3 Einsatz von Data-Mining und Maschinellem Lernen in Produktionsprozessen	39
2.4 Überwachungs- und Steuerstrategien von Scherschneidprozessen.....	44
2.4.1 Möglichkeiten der Prozessüberwachung.....	44
2.4.2 Adaptive Steuerstrategien zur Kompensation von Prozessstörungen	50
2.5 FEM-Simulation des Scherschneidprozesses.....	56
2.5.1 Fließverhalten und Versagen des Werkstoffs in mathematischer Beschreibung	57
2.5.2 Möglichkeiten und Grenzen der Simulation von Scherschneidprozessen	61
2.6 Zusammenfassung des Standes der Technik und Bewertung	62

3 Motivation, Zielsetzung der Arbeit und Vorgehensweise	64
4 Charakterisierung des Zielsystems	69
4.1 Verwendete Anlagen, Werkzeuge und Musterteile	69
4.1.1 Stanzmaschine mit Stanzwerkzeugen	69
4.1.2 Blechwerkstoffe und untersuchte Musterteile.....	74
4.2 Verwendete Sensorik und Signalerfassungssysteme	78
4.2.1 Sensorik und Integrationskonzepte	78
4.2.2 Experimentelle Bestimmung der geeignetsten Sensorik und des Integrationsortes .	83
4.3 Charakterisierung der zentralen Zielgrößen am Stanzteil.....	92
4.3.1 Charakterisierung der Tellerbildung	92
4.3.2 Charakterisierung der Schnittflächenqualität.....	93
5 Kompensationsscheiden als adaptives Korrekturverfahren.....	94
5.1 Ursachen und Einflussgrößenidentifizierung für die Tellerbildung	95
5.1.1 Numerische Analyse des Werkstofffließverhaltens über den Schneidvorgang	96
5.1.2 Fazit zu den Einflussgrößen auf die Tellerbildung	107
5.2 Entwicklung eines selbsttätigen Kompensationsmechanismus	109
5.2.1 Herleitung der geeigneten Wirkungsweise als Zielvorstellung der Kompensation	109
5.2.2 Anforderungen an einen selbsttätigen Kompensationsmechanismus	110
5.2.3 Verfahrensprinzip eines Kompensationsschneidvorgangs.....	111
5.3 Potenzialbestätigung	113
6 Konzeption und Realisierung des adaptiven Steuersystems.....	118
6.1 Konzeptidee und Wirkungsweise des adaptiven Steuersystems.....	118
6.2 Vorgehen zur Implementierung in das Zielsystem	120
6.2.1 Realisierung des adaptiven Steuersystems mittels Modulbildung.....	123
6.2.2 Module 1 und 2: Prozesssignalerfassung und Informationsverdichtung	123
6.2.3 Modul 3: Automatisierter Erkenntnisgewinn aus den Prozesssignalen	126
6.2.4 Modul 4: Prognoseumfang.....	137
6.2.5 Metamodell für die Prognose der optimalen Steuerungsgrößen.....	150
6.2.6 Modellbildung zur Prognose von Schnittflächenmerkmalen.....	159

7 Evaluierung des Verfahrens	162
7.1 Experimenteller Versuchsplan und Versuchsdurchführung.....	162
7.2 Grundsätzliche Wirksamkeit bei ungleichem Werkzeugverschleiß.....	165
7.3 Online-Prognose von Schnittflächencharakteristika am Beispiel des Schnittgrates ...	170
7.4 Wirksamkeit innerhalb der Dimensionserweiterung der Blechdicke.....	173
7.5 Übertragbarkeit und Grenzen des Verfahrens	177
7.6 Vergleich der Ergebnisse mit den Anforderungen und Zielen dieser Arbeit	184
8 Zusammenfassung und Ausblick	187
8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	187
8.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf ein erweitertes Blechteilspektrum	189
9 Anhang	191
9.1 Data-Mining und Maschinelles Lernen.....	191
9.1.1 Einteilung der Verfahren des Maschinellen Lernens	191
9.1.2 Fehlerfunktion: die Methode der kleinsten Quadrate.....	192
9.1.3 Metriken zur Bewertung von maschinellen Lernmodellen	193
9.2 Ergänzungen zu der Untersuchung des Werkstofffließverhaltens in der Scherzone ..	196
9.3 Simulationsergebnisse für eine verrundete Werkzeugschneidkante	197
9.4 Weitere Simulationsergebnisse des Kompensationsschneidens	198
9.5 Ergebnisse für die notwendige Federkraft im beweglichen Matrizenteil	200
9.6 Aufbau des Prototypwerkzeugs für das Kompensationsschneiden.....	201
9.7 Ergänzungen aus der DIN für kaltgewalzte Flacherzeugnisse	202
10 Literaturverzeichnis.....	203
Curriculum Vitae	227