

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung.....</b>	<b>i</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>vi</b>
<b>Formelzeichen.....</b>	<b>vi</b>
<b>Kurzfassung .....</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>x</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik.....</b>	<b>5</b>
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 Maschinellern 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

<b>3</b>	<b>Motivation, Zielsetzung der Arbeit und Vorgehensweise .....</b>	<b>64</b>
<b>4</b>	<b>Charakterisierung des Zielsystems .....</b>	<b>69</b>
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
<b>5</b>	<b>Kompensationsscheiden als adaptives Korrekturverfahren.....</b>	<b>94</b>
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
<b>6</b>	<b>Konzeption und Realisierung des adaptiven Steuersystems.....</b>	<b>118</b>
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

<b>7</b>	<b>Evaluierung des Verfahrens.....</b>	<b>162</b>
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
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>187</b>
8.1	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	187
8.2	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf ein erweitertes Blechteilspektrum .....	189
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>191</b>
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
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>203</b>
	<b>Curriculum Vitae .....</b>	<b>227</b>