

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Kenntnisse</b>	<b>3</b>
2.1	Stanzbiegeteile.....	3
2.2	Biegen.....	5
2.2.1	Freibiegen.....	6
2.2.2	Gesenkbiegen/Prägebiegen .....	7
2.2.3	Herstellung von blechförmigen Frei- und Gesenkbiegeteilen.....	8
2.2.4	Möglichkeiten zur Prozessregelung .....	10
2.3	Folgeverbundprozess .....	13
2.3.1	Eigenschaften von Stanzautomaten.....	14
2.3.2	Mechanische Stanzautomaten für schnelle Stanzprozesse .....	15
2.3.3	Fertigung von Stanzteilen.....	15
2.4	Stanzbiegeprozess.....	16
2.4.1	Eigenschaften von Stanzbiegeautomaten .....	17
2.4.2	Antriebsarten für Stanzbiegeautomaten .....	18
2.4.2.1	Kurvenscheibensteuerung .....	18
2.4.2.2	NC-Stanzbiegeautomaten.....	19
2.4.3	Fertigungsweisen – Anordnung der Werkzeuge in einem Stanzbiegeautomaten .	21
2.4.3.1	Radiale Fertigungsweise .....	21
2.4.3.2	Lineare Fertigungsweise .....	23
2.4.4	Allgemeiner Prozessablauf – Werkzeuge und Peripherie .....	23
2.4.4.1	Abwickeln, Richten und Einziehen.....	24
2.4.4.2	Pressen und Stanz-/Schneidwerkzeuge .....	25
2.4.4.3	Biegewerkzeuge .....	26
2.4.4.4	Mittelstempel.....	27
2.4.5	Bearbeitungszentren und Prozessintegration.....	27
2.5	Einfluss- und Störgrößen beim Stanzbiegen .....	28
2.5.1	Fehler an Stanzbiegeteilen.....	29
2.5.2	Einfluss des Biegeverfahrens .....	30
2.5.3	Einfluss von Maschine, Werkzeug und Mensch .....	31
2.5.4	Einfluss der Werkstoffparameter.....	32
2.5.4.1	Kriechen .....	32
2.5.4.2	Relaxation.....	35
2.5.4.3	Zeitabhängige Rückfederung .....	39

<b>3</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>Methodik zur Entwicklung von Korrekturstrategien für Stanzbiegeprozesse</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>Analyse von Stanzbiegeprozessen</b>	<b>45</b>
5.1	Genauigkeit von Stanzbiegeautomaten .....	46
5.1.1	NC-Stanzbiegeautomat.....	46
5.1.2	Kurvenscheibenmaschine.....	49
5.2	Stanzbiegewerkzeuge und deren Einrichtprozess .....	54
5.3	Analyse der Halbzeugeigenschaften.....	55
5.3.1	NE-Metallwerkstoffe.....	55
5.3.1.1	EN AW-Al 99,5.....	55
5.3.1.2	Cu-ETP.....	57
5.3.1.3	CuFe2P.....	59
5.3.2	Eisenwerkstoffe .....	60
5.3.2.1	DC04 .....	60
5.3.2.2	X10CrNi18-8.....	61
5.3.3	Zeitabhängige Rückfederung .....	63
5.3.3.1	Zeitabhängige Rückfederung von CuFe2P .....	65
5.3.3.2	Zeitabhängige Rückfederung von X10CrNi18-8 .....	68
5.4	Zusammenfassende Betrachtung.....	71
5.4.1	Stochastische Fehler.....	72
5.4.2	Periodische Fehler.....	74
5.4.3	Trendfehler .....	75
5.4.4	Resümee Biegewinkelfehler.....	76
5.5	Ableiten einer Prinziplösung .....	77
<b>6</b>	<b>Prinzipien für eine Selbstkorrektur von Stanzbiegeprozessen</b>	<b>81</b>
6.1	Messprinzipien für die Erfassung von Prozessgrößen.....	81
6.1.1	Erfassung der Biegeteilgeometrie .....	82
6.1.1.1	Taktils Messen mittels elektrischen Kontakts .....	83
6.1.1.2	Berührungsloses Messen durch Wirbelstrom.....	84
6.1.1.3	Berührungsloses Messen mittels optischer Messmethoden .....	85
6.1.2	Erfassung der Drahtdicke .....	86
6.1.2.1	Taktile Messmethoden zur Erfassung der Drahtdicke .....	87
6.1.2.2	Berührungslose Messmethoden zur Erfassung der Drahtdicke.....	88
6.2	Eingriffsprinzipien für eine Prozessbeeinflussung .....	89
6.2.1	Maschinengebundene Eingriffsmöglichkeiten .....	90
6.2.2	Werkzeuggebundene Eingriffsmöglichkeiten .....	92

---

6.3	Strategieprinzipien für ein Korrekturkonzept.....	94
6.4	Zusammenwirken der einzelnen Prinzipien im Gesamtkonzept .....	96
<b>7</b>	<b>Exemplarische Umsetzung eines Korrekturkonzepts</b>	<b>99</b>
7.1	Aufbau und Funktionsweise des Versuchsstandes .....	99
7.2	Dynamisches Verhalten des Versuchsstandes .....	101
7.3	Erfassung der Bauteilgeometrie am Kurvenscheibenversuchsstand .....	107
7.4	Korrektur des Stanzbiegeprozesses am Beispiel eines Kupferbauteils .....	109
7.4.1	Erfassung der Produkt- bzw. Prozessqualität .....	109
7.4.2	Aufstellen von prozessbedingten Zusammenhängen .....	111
7.4.3	Entwicklung eines Korrekturprinzips.....	113
7.4.3.1	Direkte Verstellung des Stempelhubes .....	114
7.4.3.2	Eingriff durch zusätzliche Aktorik .....	115
7.4.3.3	Entwicklung einer Korrekturfunktion und Anwendung der Korrektur.....	117
7.5	Korrektur des Stanzbiegeprozesses am Beispiel eines Federbauteils .....	130
7.5.1	Analyse der funktionsentscheidenden Bauteilabmaße .....	130
7.5.2	Aufstellen von prozessbedingten Zusammenhängen .....	132
7.5.3	Beeinflussen des Biegeergebnisses .....	134
7.5.4	Anwenden der Biegewinkelkorrektur .....	135
<b>8</b>	<b>Anwendung eines Korrekturprinzips im Serienprozess</b>	<b>139</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>145</b>
<b>10</b>	<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>149</b>
<b>11</b>	<b>Literatur</b>	<b>155</b>