

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme

Band 2/2015

Christian Simon Magnus

**Lokale joulesche Erwärmung
der Umformzone in der roboterbasierten
inkrementellen Blechumformung**

Shaker Verlag
Aachen 2015

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	iv
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Herausforderung	2
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	3
2 Wissenschaftliche Einführung in das Forschungsgebiet	5
2.1 Inkrementelle Blechumformung für asymmetrische Bauteile in kleinen Stückzahlen	5
2.1.1 Verfahrensvarianten	6
2.1.2 Wesentliche Eigenschaften von IBU-Bauteilen	8
2.1.3 Mechanik der IBU	16
2.2 Inkrementelle Blechumformung bei erhöhter Temperatur	17
2.2.1 Grundlagen der Umformung bei erhöhter Temperatur	17
2.2.2 Verfahrensvarianten	20
2.3 Generelle wissenschaftliche Fragestellung	24
3 Verfahrensspezifischer Stand der Kenntnisse	26
3.1 Inhomogene, instationäre Temperaturfelder	26
3.2 Einfluss von Temperaturfeldern und Eigenspannungen auf die Bauteilgenauigkeit	27
3.3 Wärmetransport	29
3.4 Joulesche Widerstandserwärmung	30
3.5 Widerstandspunktschweißen	33
3.6 Der elektrische Widerstand in Leitern und Kontakten	34
3.7 Einfluss elektrischer Ströme auf das Dehnungsverhalten von Metallen	38
3.8 Temperaturbestimmung bei Widerstandserwärmungsprozessen	42
3.8.1 Theoretischer Hintergrund	42
3.8.2 Anwendung	46
3.9 Zusammenfassung des verfahrensspezifischen Stands der Kenntnisse	48
4 Konkretisierung der Zielsetzung	49
5 Phänomenologische Untersuchungen der IBU mit joulescher Erwärmung	51
5.1 Konzeptentwicklung zur Erzielung der gewünschten Rahmenbedingungen	51
5.2 Analytische Beschreibung der Energiebilanz	54
5.3 Einflussfaktoren und Zielgrößen der IBU bei erhöhter Temperatur	63

INHALTSVERZEICHNIS

6	Realisierung der Anlagenerweiterung	65
6.1	Auswahl metallischer Blechwerkstoffe	65
6.1.1	Ti6Al4V	68
6.1.2	Complexphasen-Stahl CP-K60/78 + ZE	69
6.2	Prozessdesign	71
6.3	Versuchsaufbau	73
6.3.1	Roboforming-Zelle	73
6.3.2	Umformwerkzeuge	75
6.3.3	Stromquelle	76
6.3.4	Aufbau des Temperaturmesssystems	77
6.3.5	Schmierung und Kühlung	86
6.3.6	Anlagenvernetzung	88
6.4	Implementierung der kraftgeregelten inkrementellen Blechumformung	90
6.5	Steifigkeitskompensation der Roboter und Werkzeuge	95
6.6	Temperaturregelung	96
6.7	Zusammenfassung der Realisierung der Anlagenerweiterung	99
7	Experimentelle Untersuchung der Einflussfaktoren und Zielgrößen	101
7.1	Identifikation geeigneter Testgeometrien	101
7.2	Voruntersuchungen zur Prozessstabilität	104
7.3	Erläuterungen zur folgenden Versuchsdurchführung	105
7.4	Beanspruchung der Werkzeugspitzen	106
7.4.1	Tribologisches System	107
7.4.2	Eingesetzte Schmierstoffe	108
7.4.3	Werkstoffauswahl für die Umformspitzen	108
7.4.4	Durchführung	109
7.4.5	Verschleiß der Werkzeugspitzen bei der Umformung von CP-K60/78 + ZE	110
7.4.6	Verschleiß der Werkzeugspitzen bei der Umformung von Ti6Al4V	112
7.5	Geometrische Genauigkeit	114
7.5.1	3D-Digitalisierung	115
7.5.2	Variation relevanter Einflussfaktoren	116
7.5.3	Einfluss auf Umformkräfte und nachträgliche Deformation	121
7.5.4	Einfluss auf den Rückfederungsanteil	124
7.5.5	Optimierte Umformung	129
7.6	Maximal erzielbare Flankenwinkel	131
7.7	Einfluss der untersuchten Parameter auf die Oberflächenqualität der Bauteile	132
7.8	Validierung der Modellbildung	134
7.9	Zusammenfassung und Diskussion der Versuchsergebnisse	135
8	Zusammenfassung und Ausblick	138
8.1	Zusammenfassung	138
8.2	Ausblick	141
A	Anhang	143
	Literaturverzeichnis	147

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	169
Tabellenverzeichnis	173
Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme	174
Index	183