

Inhaltsverzeichnis

Content

1 Einleitung	1
2 Stand der Technik.....	5
2.1 Produktionsverfahren in der Blechbearbeitung	5
2.1.1 Scherschneiden	5
2.1.2 Kragenziehen	7
2.1.3 Pressensysteme.....	10
2.2 Grundlagen hochfester Stahlwerkstoffe	11
2.2.1 Anwendungen	13
2.2.2 Verfahren zur Bearbeitung hochfester Stähle	14
2.3 Erwärmungstechnologien für Stahlbleche	17
2.3.1 Erwärmung im Ofen	19
2.3.2 Induktive Erwärmung	20
2.3.3 Erwärmung mittels Laser	21
2.3.4 Elektrische Widerstandserwärmung	22
2.4 Eigenschaften und Anwendungen elektrischer Erwärmung	23
2.4.1 Physikalische Effekte der Widerstandserwärmung eines elektrischen Leiters	24
2.4.2 Industrieller Einsatz und Stand der Forschung.....	27
2.4.3 Numerische Simulation elektrischer Widerstandserwärmung	28
2.5 Aufbau, Funktion und Fertigung von PEM-Brennstoffzellen.....	30
2.5.1 Grundlagen zu metallischen Bipolarplatten	32
2.5.2 Fertigungstechnologien für die Umformung metallischer Bipolarplatten	33
2.6 Zusammenfassung und Forschungsbedarf.....	36
3 Aufgabenstellung und Zielsetzung	39
4 Theoretische Betrachtungen und numerische Simulation	43
4.1 Einfluss der thermischen Bearbeitung auf Stoffeigenschaften und Umformverhalten von Stahlblechen	43
4.1.1 Werkstoffkundliche Grundlagen	43
4.1.2 Eigenschaften und Auswirkung der Wärmebehandlung.....	44
4.1.3 Auswahl der Erwärmungstechnologie	46
4.1.4 Werkstoffcharakterisierung	49
4.2 Analytische Prozessauslegung der elektrischen Widerstandserwärmung	50
4.2.1 Wärmeleitung	52
4.2.2 Konvektion	53
4.2.3 Wärmestrahlung.....	55
4.3 Modellierung der elektrischen Widerstandserwärmung.....	56
4.4 Parametervariation der Simulation	57

4.5	Simulationsergebnisse	59
4.5.1	Erwärmungsverlauf	59
4.5.2	Abkühlverhalten	63
5	Systementwicklung für die elektrische Widerstandserwärmung	65
5.1	Prüfstandsanforderungen	65
5.2	Funktion und Aufbau des Prüfstands	67
5.2.1	Mechanische Konstruktion der Erwärmungseinheit	67
5.2.2	Aufbau und Integration in eine Stanzmaschine	68
5.3	Entwicklung des integrierten Erwärmungssystems für ein Folgeverbundwerkzeug	72
5.3.1	Aufbau eines modularen Folgeverbundwerkzeugs	73
5.3.2	Entwicklung und Integration des Erwärmungsmoduls	75
6	Prozessentwicklung und experimentelle Validierung	79
6.1	Prozessentwicklung für die kombinierte thermo-mechanische Bearbeitung	79
6.1.1	Thermisch unterstütztes Scherschneiden	82
6.1.2	Thermisch unterstütztes Kragenziehen	84
6.2	Prozessergebnisse der werkzeugintegrierten Bearbeitung	88
6.2.1	Scherschneiden nach elektrischer Widerstandserwärmung ..	89
6.2.2	Kragenziehen nach elektrischer Widerstandserwärmung ..	92
6.3	Validierung der Simulation	98
6.4	Ergebnisdiskussion	100
7	Elektrische Widerstandserwärmung von Bipolarplatten	101
7.1	Aktuelle Herausforderungen in der Bipolarplattenproduktion	101
7.2	Effekte der thermischen Behandlung von Bipolarplattenwerkstoffen	103
7.3	Methodik der Prozessentwicklung	104
7.3.1	Einstufiges Warmumformen	105
7.3.2	Zweistufige Umformung mit Zwischenglühen	105
7.4	Experimentelle Untersuchungen	106
7.4.1	Eigenschaften der Versuchsbauteile	106
7.4.2	Aufbau der Systemtechnik	107
7.5	Umformergebnisse	108
7.5.1	Einstufiges Warmumformen	109
7.5.2	Zweistufige Umformung mit Zwischenglühen	112
7.5.3	Gefügeanalyse	113
7.6	Ergebnisdiskussion	114
7.7	Technologietransfer zu Bipolarplatten aus Titan	115
8	Zusammenfassung und Ausblick	123
8.1	Zusammenfassung	123
8.2	Ausblick	125

9 Literaturverzeichnis.....	129
------------------------------------	------------