

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung und Zielsetzung	2
3	Stand der Erkenntnisse	3
3.1	Flammrichten und Formrichten	3
3.2	Umformen mittels induktiver Erwärmung	5
3.3	Umformen mit Laserstrahlung - Laserstrahlumformen	9
4	Grundlagen des thermischen Blechumformens	20
4.1	Physikalisches Prinzip der Erwärmung	20
4.1.1	Induktive Erwärmung	20
4.1.1.1	Wirkungsprinzip der elektromagnetischen Induktion	20
4.1.1.2	Voraussetzungen für eine effektive Erwärmung .	23
4.1.2	Erwärmung mit Laserstrahlung	27
4.1.2.1	Wirkungsprinzip des Lasers	27
4.1.2.2	Energieeinkopplung	28
4.1.2.3	Geeignete Lasertypen und erreichbare Wärmeleistungen	29
4.2	Prinzip des thermischen Blechumformens	30
4.2.1	Aufheizphase	33
4.2.1.1	Thermische Dehnung	33
4.2.1.2	Plastifizierung	33
4.2.2	Abkühlphase	34
4.3	Einflußgrößen beim thermischen Blechumformen	35
4.3.1	Temperaturverteilung und thermische Stoffwerte	37
4.3.2	Mechanische Stoffwerte	39
4.3.2.1	Elastizitätsmodul	39

4.3.2.2	Fließspannung	40
4.3.2.3	Wärmeausdehnungskoeffizient	40
4.3.3	Geometrie des umzuformenden Blechs	41
4.3.3.1	Blechdicke	41
4.3.3.2	Länge der Biegeschenkel	42
4.3.3.3	Blecbreite	42
4.3.4	Prozeßparameter Leistung und Vorschubgeschwindigkeit	43
4.3.5	Randbedingungen	44
4.3.5.1	Zusätzliche Kühlung während und nach der Bearbeitung	44
4.3.5.2	Pausenzeit zwischen den Bearbeitungen	44
4.3.5.3	Verwendung absorptionssteigernder Deckschichten	45
4.3.5.4	Lasertyp	46
4.3.6	Elastische Vorspannung	46
4.3.6.1	Elastische Vorspannung	49
4.3.6.2	Aufheizphase	50
4.3.6.3	Abkühlphase	51
4.3.6.4	Konsequenzen	52
4.4	Herstellbare Bauteilformen	52
4.5	Abschätzung des Biegewinkels	53
5	Simulation mit der Finite-Elemente-Methode	57
5.1	Wahl eines geeigneten FE-Programmsystems	57
5.2	Modellbildung	57
5.2.1	Annahmen und Vereinfachungen	57
5.2.2	Aufbau eines Eingabedatensatzes	59
5.2.3	Mehrstufige Berechnung entkoppelter Probleme	59
5.2.4	Stoffwerte für die Parametervariationen	61
5.2.5	Thermische Randbedingungen	61
5.2.5.1	Wandernde Wärmequellen	61
5.2.5.2	Strahlung und Konvektion	62
5.2.6	Mechanische Randbedingungen	63
5.2.7	Wahl der Blechgeometrie und der Prozeßparameter	63
5.2.8	Diskretisierung	64

5.2.9	Vergleich von konstanten Stoffwerten und St37	67
5.3	Parametervariationen	69
5.3.1	Variation der Stoffwerte	69
5.3.1.1	Wärmeleitfähigkeit	69
5.3.1.2	Spezifische Wärmekapazität	70
5.3.1.3	Wärmeausdehnungskoeffizient	71
5.3.1.4	Elastizitätsmodul	73
5.3.1.5	Fließspannung	74
5.3.2	Variation der Prozeßparameter	75
5.3.2.1	Vorschubgeschwindigkeit	75
5.3.2.2	Leistung der Wärmequelle	77
5.3.2.3	Streckenenergie	78
5.3.2.4	Anzahl der Bearbeitungen	79
5.3.3	Variation der Blechgeometrie	80
5.3.3.1	Blechdicke	80
5.3.3.2	Blechbreite	81
5.4	Zeitliche Verläufe von Temperatur, Biegewinkel, Spannungen und Formänderungen	84
5.4.1	Temperatur	86
5.4.2	Biegewinkel	86
5.4.3	Spannungen und Eigenspannungen	89
5.4.3.1	Zeitlicher Verlauf der Spannungen im stationären Bereich	89
5.4.3.2	Spannungsverteilung in der Bearbeitungsspur während der Bearbeitung	91
5.4.3.3	Eigenspannungen	93
5.4.4	Formänderungen	97
5.5	Bewertung und Diskussion der Ergebnisse	100
6	Ausblick auf eine industrielle Anwendung	103
7	Zusammenfassung	107
8	Literaturverzeichnis	108

9	Abbildungsverzeichnis	115
10	Tabellenverzeichnis	120
11	Verwendete Zeichen und Symbole	121