

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung	3
2	Grundlagen	5
2.1	Elektromagnetisches Feld	5
2.1.1	Maxwellgleichungen	5
2.1.2	Skinneffekt	9
2.1.3	Wärmequellen	11
2.1.4	Proximityeffekt	13
2.2	Temperaturfeld	13
2.2.1	Konvektionsverluste	14
2.2.2	Strahlungsverluste	15
2.3	Gefügestruktur	17
2.4	Werkstoffauswahl und Materialeigenschaften	19
2.4.1	Elektromagnetische Eigenschaften	20
2.4.2	Thermische Materialeigenschaften	26
3	Simulationsmodelle	31
3.1	Der induktive Rohr-Längsnaht-Schweißprozess	31
3.1.1	Induktor	32
3.1.2	Impeder	32
3.1.3	Schweißwinkel	33
3.1.4	Stromfrequenz	35
3.1.5	Schweißgeschwindigkeit	35
3.2	Aufbau der Finite-Elemente-Modelle	36
3.2.1	Vollrohr-Schweißmodell	36
3.2.2	Rohr-Querschnitts-Schweißmodell	38
3.3	Lösungsalgorithmus	39
3.4	Numerische Diskretisierung	43
3.5	Homogenisierung der Modelle	45
3.6	Temperaturkriterium	49
3.6.1	Prozesspunktstabilität	50
3.7	Energetischer Nutzkoeffizient	50
4	Einfrequenzschweißen von plattierten Rohren	53
4.1	Physikalische Zusammenhänge	53
4.1.1	Wirkung der Schweißgeschwindigkeit	57
4.1.2	Wirkung der Stromfrequenz	61
4.1.3	Wirkung des Impeders	65

4.2	Parameter für das Einfrequenz-Schweißen	67
4.2.1	Schweißparameter für dünnwandige Rohre	68
4.2.2	Schweißparameter für dickwandige Rohre	78
5	Simultane Zweifrequenz beim Schweißen von plattierten Rohren	86
5.1	Wirkung der simultanen Zweifrequenz	86
5.2	Schweißparameter für die Zweifrequenz	90
5.2.1	Schweißparameter für dünnwandige Rohre mit SZF	90
5.2.2	Schweißparameter für dickwandige Rohre mit SZF	97
6	Physikalische Modelle und Validierung	102
6.1	Thermografieauswertung	102
6.2	Versuche an der Rohrschweißanlage	104
6.2.1	RSA-Validierungsversuch	106
6.3	Versuche an der Platinenschweißanlage	111
6.3.1	Platinen-Querschnitts-Schweißmodell	112
6.3.2	PSA-Validierungsversuche	113
7	Zusammenfassung und Ausblick	119