

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Zielsetzung.....	2
1.2	Exposition.....	4
2	Industrielle Prozesswärme für Metallprodukte	6
2.1	Industrielle Verfahren zur Wärmebehandlung von metallischen Bandmaterialien.....	8
2.2	Konventionelle Thermoprozessanlagen	12
2.3	Direkte Erwärmung mittels Induktionserwärmungsanlagen	15
2.3.1	Grundlagen der Induktionserwärmung.....	15
2.3.2	Induktive Längsfelderwärmung	19
2.3.3	Induktive Quersfelderwärmung	20
2.3.4	Erwärmung mittels Flächeninduktoren.....	21
2.3.5	Einsatzbereiche der einzelnen Verfahren	22
3	Theoretische Grundlagen	24
3.1	Grundlagen der technischen Wärmelehre	24
3.1.1	Enthalpie eines isobaren Prozesses	25
3.1.2	Wärmeleitung	26
3.1.3	Konvektion.....	28
3.1.4	Wärmestrahlung.....	29
3.2	Elektromagnetische Felder.....	32
3.2.1	Maxwellsche Theorie	32
3.2.2	Berechnung elektromagnetischer Felder	35
3.2.3	Analytische Lösung der Feldausbreitung im unendlich ausgedehnten leitenden Halbraum.....	37
3.2.4	Elektromagnetische Wechselwirkungseffekte.....	40
3.3	Verknüpfung von elektromagnetischem Feld und Temperaturfeld	47
4	Numerische Simulation der induktiven Quersfelderwärmung.....	48
4.1	Grundlagen der FEM	50
4.2	Numerische Simulation einseitiger induktiver Quersfelderwärmungsprozesse mit der Software ANSYS®	51

4.2.1	Modelldesign	52
4.2.2	Simulationsstruktur	55
4.2.3	Elektromagnetische Lösung.....	59
4.2.4	Thermische Lösung.....	65
4.2.5	Postprocessing.....	70
4.2.6	Bewegungsalgorithmus	73
4.2.7	Optimierung mit einem genetischen Algorithmus.....	75
5	Hierarchische Auslegung von einseitigen Querfeldinduktoren.....	83
5.1	Analytische Berechnungen	85
5.1.1	Bestimmung der benötigten Leistung	86
5.1.2	Einfluss und Abschätzung der Frequenz.....	88
5.1.3	Einfluss und Abschätzung des Koppelspalts.....	90
5.1.4	Einfluss und Abschätzung der Polbreite	91
5.1.5	Einfluss und Abschätzung der effektiven Leiterbreiten.....	92
5.1.6	Einfluss und Abschätzung des Kopfüberstandes	93
5.2	Numerische Simulationen am unendlich breiten Band	94
5.2.1	Vergleich mit analytischen Berechnungen.....	96
5.2.2	Zweistufige Auslegung eines Induktors.....	113
5.3	3D-Simulationen des Induktorkopfbereichs	116
5.3.1	Induktorkopfgeometrien.....	117
5.3.2	Langsam und schnell bewegtes Band.....	127
5.3.3	Optimierung des Erwärmungsprozesses	129
5.4	3D-Simulationen des gesamten Induktorsystems	138
5.4.1	Numerisches Modell	139
5.4.2	Flexible Anschlusskonzepte von Querfeldinduktoren	143
5.5	Prototypenfertigung und Feldversuche.....	146
5.5.1	Konstruktion und Fertigung des Induktorprototypen.....	146
5.5.2	Feldversuche im Labor	148
5.5.3	Prozessanalyse	151
6	Dynamische Querfelderwärmung.....	156
6.1	Prinzip der dynamischen Querfelderwärmung	157
6.2	Empirische Untersuchungen	159

6.2.1	Erweiterung des Versuchsstands.....	159
6.2.2	Durchführung praktischer Messungen.....	162
6.3	Numerische Stabilitätsanalyse.....	167
6.3.1	Dynamischer Bewegungsalgorithmus	169
6.3.2	Eigenwertbeulanalyse	173
6.4	Mögliche Anwendung.....	175
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	179