

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Aufgabenstellung und Optimierungsstrategie	2
2.1 Anforderung an die Erwärmung in das Solidus/Liquidus-Intervall	3
2.2 Lösungsansätze zur gezielten Bolzenerwärmung	4
2.3 Arbeitsziele und Lösungswege	5
3 Grundlagen und Stand der Technik	7
3.1 Grundlagen der induktiven Erwärmung	8
3.1.1 Theoretische Betrachtungen zur induktiven Erwärmung	9
3.1.2 Die Stromeindringtiefe	10
3.1.3 Joulesche Verluste	11
3.1.4 Bestimmung des Arbeitskreis-Wirkungsgrades	13
3.1.5 Volumenkräfte	13
3.2 Stand der Technik	14
3.2.1 Induktive Bolzenerwärmung für Sonderprobleme	15
3.2.2 Bekannte Lösungsansätze für die Bolzenerwärmung in das Solidus/Liquidus-Intervall	16
4 Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse	18
4.1 Zielparameter der Bolzenerwärmung für die Weiterverarbeitung	20
4.2 Prozeßeigenschaften und Prozeßgrößen des Erwärmungsvorgangs	20
4.2.1 Einfluß der Prozeßeigenschaften auf die Zielparameter	21
4.3 Produkteigenschaften und Produktgrößen	23
4.3.1 Vormaterialgefüge- und -legierung als Einflüsse auf die Zielparameter	23
4.3.2 Geometrieeinfluß der Bolzen als Einfluß auf die Zielparameter	25
4.3.3 Produkteigenschaften während der Erwärmung	26
4.3.4 Rückwirkung der Produkteigenschaften auf die Prozeßeigenschaften	27
4.4 Analyse der Prozeßgrößen und der Produktgrößen	27
4.4.1 Analyse der Prozeßgrößen	27
4.4.2 Analyse der Produktgrößen	28

4.5 Strategie zur Optimierung des Erwärmungsprozesses	29
<u>5 Simulation der induktiven Erwärmung</u>	<u>31</u>
5.1 Zielsetzung	31
5.1.1 Modellbildung	31
5.1.2 Netzgenerierung für die Berechnung	34
5.1.3 Modellbildung für die Jouleschen Verluste	35
5.1.4 Modellbildung für die Temperaturberechnung	37
5.1.5 Einfluß der Stoffwerte in der Simulationsrechnung	39
5.2 Vergleich der Simulationsrechnungen mit Messungen	40
5.3 Charakterisierende Größen und Anwendungsbeispiele	43
5.3.1 Ergebnisse für die Erwärmungszeit	44
5.3.2 Regelungstechnische Ergebnisse	46
<u>6 Meßverfahren zur Ermittlung des Bolzenzustandes</u>	<u>48</u>
6.1 Anforderung an die Meßtechnik	49
6.2 Erprobung eines neuen induktiven Meßverfahrens	49
6.2.1 Meßprinzip und Idee	50
6.2.2 Elektrotechnische Betrachtungen	51
6.2.3 Simulationsergebnisse	52
6.3 Meßversuche	53
6.3.1 Das Meßspulensignal	54
6.3.2 Das Referenzsignal	54
6.3.3 Die Versuchsreihen	54
6.3.4 Geometriestabilisierung der Bolzen	55
6.3.5 Geometrische Einflußgrößen der Meßanordnung	56
6.3.6 Einfluß der Leistung des Arbeitskreises auf das Meßsignal	59
6.3.7 Reproduzierbarkeit der Meßsignale	59
6.4 Optimierung der Meßtechnik	60
6.4.1 Meßspulenoptimierung	60
6.4.2 Anforderungen an ein leistungsfähiges Mehrkanal-Meßsystem	61
6.4.3 Aufbau eines modularen Meßsystems	62
6.4.4 Die Meßsystemsoftware	62
6.4.5 Die PC-Software	65

<u>7 Untersuchungen zur Regelung des Erwärmungsvorgangs</u>	66
7.1 Regelungskonzept der Erwärmung	67
7.2 Systembeschreibung der EFU-Anlage	68
7.2.1 Statisches Systemverhalten	69
7.2.2 Dynamisches Systemverhalten	70
7.2.3 Implementierung des Regelungskonzeptes	72
7.2.1 Kaskadierte Leistungsregelung mit Hilfe des Meßsignals	73
7.3 Erprobung der Regelung	74
<u>8 Verbessertes Anlagenkonzept</u>	76
8.1 Alternativen für die elektrische Einspeisung	76
8.1.1 Mehrere parallelgeschaltete Erwärmungsmodule	77
8.1.2 Lösung mit einzelnen Parallelschwingkreisumrichtern	78
8.1.3 Mehrere Serienschwingkreise an einem Spannungs- zwischenkreis	78
8.1.4 Mehrere Parallelschwingkreise an einem Spannungs- zwischenkreis	79
8.2 Einsatz modifizierter Antriebsumrichter	79
8.2.1 Untersuchung des neuen Umrichterkonzeptes	81
8.2.2 Systembeschreibung des neuen Umrichterkonzeptes	82
8.2.3 Automatisierungsstruktur der Mehrspulenanlage	84
8.2.4 Aufbau und Erprobung einer Mehrspulenanlage	86
<u>9 Sonderprobleme und Ausblicke</u>	87
<u>10 Zusammenfassung</u>	91
<u>11 Literaturverzeichnis</u>	93