

VORWORT	V
GELEITWORT	VII
1. EINLEITUNG	1
2. GRUNDLAGEN	5
2.1 Induktive Energieübertragung	6
2.2 Bauformen von Induktionsöfen	8
2.3 Induktions-Tiegelofen	9
2.3.1 Elektrischer Wirkungsgrad	9
2.3.2 Feldverlauf	10
2.3.3 Badbewegung	12
2.3.3.1 Badüberhöhung	12
2.3.3.2 Badströmung	13
2.4 Induktions-Rinnenofen	15
2.4.1 Wirkungsgrad	15
2.4.2 Elektromagnetisches Feld und Schmelze- strömung	16
3. AUFBAU DER TIEGELOFENANLAGE	19
3.1 Ofenkörper	21
3.1.1 Feuerfestauskleidung	21
3.1.1.1 Quarzitische Trockenmassen	22
3.1.1.2 Spinellbildende Trockenmassen	25
3.1.1.3 Zustelltechnik	26
3.1.2 Spule und Blechpaket	29
3.1.3 Kippgestell und Ofendeckel	33
3.2 Stromversorgung	35
3.2.1 Netz- und Mittelfrequenzanschluss	35
3.2.2 Parallel- und Serienschwingkreisumrichter	37
3.2.3 Umrichter mit IGBT-Modulen	39
3.2.4 Netzurückwirkungen	39
3.2.5 Optimierung der Leistungsnutzung durch Tandemanordnung	41
3.2.6 Frequenzumschaltung	42
3.2.7 Magnetische Streufelder	43

3.3	Peripherie	44
3.3.1	Rückkühleinrichtungen	45
3.3.1.1	Ofenkühlkreis	45
3.3.1.2	Elektrikkühlkreis	48
3.3.1.3	Gemeinsamer Kühlkreis für Ofen und Elektrik	48
3.3.1.4	Frostsicherheit und Einstellung der Wasserqualität... ..	49
3.3.1.5	Abwärmenutzung	50
3.3.2	Chargiereinrichtungen	52
3.3.3	Absaughaube	55
3.3.4	Abschlackeinrichtungen	57
3.3.5	Leitsysteme für die Prozesssteuerung	59
3.4	Gesamtanlage	61
4.	AUFBAU DES INDUKTIONS-RINNENOFENS	65
4.1	Ofenkessel	66
4.1.1	Bauformen zum Warmhalten	66
4.1.2	Bauform zum dosierten Gießen	69
4.1.3	Bauformen zum Schmelzen	72
4.1.4	Feuerfestauskleidung	73
4.2	Induktoren	74
4.2.1	Bauformen	75
4.2.2	Feuerfestauskleidung	78
4.3	Stromversorgung	79
4.3.1	Netzfrequenz-Einspeisung	79
4.3.2	Umrichter-Stromversorgung	80
4.4	Kühleinrichtungen	80
5.	ELEKTROMAGNETISCHE RÜHRER UND PUMPEN	83
6.	OFENAUSLEGUNG UND ENERGIEAUFWAND	87
6.1	Kenndaten für das Schmelzen im Tiegelofen	88
6.1.1	Ofenleistung	88
6.1.1.1	Spezifische Enthalpie	88
6.1.1.2	Elektrische Verluste	91
6.1.1.3	Thermische Verluste	92
6.1.1.4	Ofenwirkungsgrad	93
6.1.1.5	Auslegung der Ofenleistung	94
6.1.2	Leistungsdichte und Ofengrenzleistung	94

6.1.3	Frequenz des Spulenstroms	96
6.1.4	Energiebedarf	97
6.1.5	Strompreisgestaltung und Lastmanagement.....	101
6.2	Kenndaten für den Rinnenofen	102
6.2.1	Schmelzen von NE-Metallen	102
6.2.2	Warmhalten und Überhitzen von Eisenschmelzen.....	103
7.	SCHMELZMETALLURGIE VON EISEN- UND NICHEISEN-WERKSTOFFEN	105
7.1	Gusseisen	106
7.1.1	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	106
7.1.2	Eisenguss-Sorten	109
7.1.3	Sauerstoffhaushalt der Schmelze und C/Si- Isothermen	113
7.1.4	Impfung und Keimbildung.....	118
7.1.5	Magnesiumbehandlung.....	121

7.1.5.1	Überschütt- und Sandwichverfahren	123
7.1.5.2	Cover-Tundish-Verfahren	124
7.1.5.3	GF-Konverter-Verfahren	125
7.1.5.4	Drahteinspul-Verfahren	126
7.1.5.5	Inmold-Verfahren	127
7.1.5.6	Weitere Mg-Behandlungsverfahren	127
7.1.6	Entschwefelung	127
7.1.7	Schmelzekontrolle	128
7.1.7.1	Gießkeilprobe	128
7.1.7.2	Thermische Analyse	129
7.2	Stahlguss	131
7.3	Aluminium	133
7.3.1	Primär- und Sekundäraluminium	133
7.3.2	Guss- und Knetlegierungen	135
7.3.3	Qualität der Aluminiumschmelze	138
7.3.4	Schmelzebehandlung	140
7.4	Kupferwerkstoffe	141
7.4.1	Kupfergewinnung	142
7.4.2	Kupfersorten und -legierungen	142
7.4.3	Oxidierendes und reduzierendes Schmelzen	144
8.	BETRIEB VON INDUKTIONSANLAGEN IN EISENGIESSEREIEN	149
8.1	Schmelzen im Induktions-Tiegelofen	151
8.1.1	Verfahrenstechnische Merkmale	151
8.1.2	Induktionsofen gegenüber Kupolofen	152
8.1.3	Netzfrequenz (NF)- oder Mittelfrequenz (MF)- Tiegelofen	154
8.1.4	Einsatzstoffe	156
8.1.4.1	Stahlschrott	156
8.1.4.2	Roheisen	158
8.1.4.3	Kreislaufmaterial	159
8.1.4.4	Gussbruch	159
8.1.4.5	Späne	159
8.1.4.6	Zuschlagstoffe	161
8.1.5	Herstellen der Schmelze	161
8.1.5.1	Gattierung und Beschickung	161
8.1.5.2	Einstellung der Sollzusammensetzung der Schmelze	163

8.1.5.3	Heizen auf Abstichtemperatur.....	165
8.1.5.4	Prozessgesteuerter Schmelzablauf.....	165
8.1.5.5	Leistungsoptimiertes Anfahren	167
8.1.5.6	Ansatz- und Brückenbildung.....	169
8.1.6	Absaugen der Rauchgase.....	170
8.1.7	Schmelzen von zinkbeschichteten Blechen	171
8.1.8	Späneschmelzen	175
8.1.8.1	Einsatz von losen Spänen.....	175
8.1.8.2	Schmelzen von Spänebriketts	177
8.1.9	Schmelzen von Eisenschwamm	178
8.1.9.1	Herstellung	178
8.1.9.2	Charakteristische Eigenschaften.....	179
8.1.9.3	Schmelzverfahren.....	180
8.1.9.4	Wirtschaftlichkeit.....	182
8.1.10	Verfahrensweise während Stillstandzeiten.....	182
8.1.11	Feuerfestverhalten.....	183
8.1.11.1	Chemischer Abtrag	183

8.1.11.2	Infiltration über die Flüssig- oder Dampfphase	185
8.1.12	Tiegelüberwachung.....	187
8.1.12.1	Integrale Verschleißmessung	187
8.1.12.2	Erdschlussüberwachung	187
8.1.12.3	Weitergehende Überwachungssysteme	191
8.2	Duplizieren, Warmhalten und Speicherschmelzen im Tiegelofen.....	192
8.3	Warmhalten im Rinnenofen.....	195
8.3.1	Einordnung in den Fertigungskreislauf	196
8.3.2	Charakteristische Merkmale des Rinnenofens	197
8.3.3	Ofenfahrweise	199
8.3.3.1	Inbetriebnahme	199
8.3.3.2	Betriebsablauf	200
8.3.3.3	Automatische Prozessüberwachung	201
8.3.3.4	Induktorwechsel	202
8.3.3.5	Vorgehen bei Störfällen	202
8.3.4	Induktorüberwachung	203
8.3.5	Verschleißverhalten der Feuerfestauskleidung	206
8.3.5.1	Auswaschen	207
8.3.5.2	Infiltration.....	207
8.3.5.3	Rissbildung.....	208
8.3.5.4	Ansatzbildung.....	209
8.3.6	Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit	211
8.4	Gießen mit druckbetätigten Gießöfen.....	211
8.4.1	Varianten und Merkmale der Teapot-Gießeinrichtung	212
8.4.2	Einsatz von beheizten und unbeheizten Gießeinrichtungen	214
8.4.3	Gießen von Mg-behandelter Schmelze	216
8.4.3.1	Ansatzbildung durch suspendierte Oxide.....	216
8.4.3.2	Magnesiumverdampfung	217
8.4.3.3	Magnesiumreaktionen mit Metalloxiden und Schwefel.....	217
8.4.3.4	Betriebserfahrungen.....	219
8.4.4	Wechselndes Gießen von GJL und GJS	222
8.4.5	Gießen mit Zwischenpfannen	223
8.4.6	Stopfeinrichtung für automatisches Gießen	224
8.4.7	Gießen im geschlossenen Regelkreis	224
8.4.8	Integriertes Impfen	226
8.4.9	Niederdruckgießen	228
8.4.10	Prozesskontrolle.....	229

8.5	Kontinuierliche Flüssigisenversorgung	229
8.5.1	Schmelzyklus einer Tandemanlage.....	230
8.5.2	Anlagenkonzepte für die kontinuierliche Flüssigisenversorgung.....	230
8.5.2.1	Rinnenofen als Puffer.....	231
8.5.2.2	Tandemanlage als Schmelz- und Pufferaggregat.....	232
8.5.2.3	Gießofen als Puffer.....	234
8.5.3	Optimierte Auslegung der Schmelz- und Gießanlage.....	235
8.6.	Schmelzen von Stahlguss im Induktions-Tiegelofen	236
8.6.1	Frequenz und Gasaufnahme.....	237
8.6.2	Einstellen der Sollzusammensetzung	239
9.	DER EINSATZ VON INDUKTIONSÖFEN IM STAHLWERK	241
9.1	Der Induktionsofen im Vergleich zum Lichtbogenofen	244
9.2	Auslegung einer Induktions-Schmelzanlage	245
9.3	Herstellung verschiedener Stahlsorten	248
9.4	Kombination von Lichtbogen- und Induktionsofen	250
9.5	Schmelzen von Ferrolegierungen	253
9.6	Einsatzstoff Eisenschwamm	254
10.	INDUKTIONSANLAGEN IN DER ALUMINIUMINDUSTRIE	259
10.1	Einsatz des Tiegelofens in Formgießereien	260
10.1.1	Metallurgisch-verfahrenstechnische Vorteile	261
10.1.2	Duplizieren im Tiegelofen.....	262
10.1.3	Feuerfestverhalten.....	262
10.2	Schmelzen von Aluminiumspänen	264
10.3	Schmelzen in Halbzeugwerken	266
10.3.1	Beispiele bewährter Produktionsanlagen	267
10.3.2	Verhalten der Induktor-Feuerfestauskleidung.....	270
11.	INDUKTIONSANLAGEN FÜR KUPFERWERKSTOFFE	273
11.1	Induktionsanlagen in Kupfer-Formgießereien	274
11.1.1	Schmelzen	274
11.1.2	Gießen von Kupferwerkstoffen mit druck- betätigten Gießöfen.....	275

11.2 Induktives Schmelzen in Halbzeugwerken	276
11.2.1 Rinnenofen mit Hochleistungsinduktoren	276
11.2.2 Einsatz von Tiegelöfen	279
11.2.2.1 Schmelzen von Messingspänen	279
11.2.2.2 Recycling von Kabelabfällen.....	281
11.2.2.3 Flexibles Schmelzen von Kupferlegierungen	282
12. INDUKTIONSÖFEN ZUM SCHMELZEN VON ZINK	285
12.1 Umschmelzen von Zinkkathoden	286
12.2 Schmelzen von Zinklegierungen.....	288
12.3 Bandverzinkung.....	289
LITERATUR	291
STICHWORTVERZEICHNIS	303