

INHALT

VORWORT	.....	V
GELEITWORT	.....	VI
1. EINLEITUNG	.....	1
2. GRUNDLAGEN	.....	3
2.1 Induktive Energieübertragung	.....	3
2.2 Bauformen von Induktionsöfen	.....	4
2.3 Induktions-Tiegelofen	.....	5
2.3.1 Elektrischer Wirkungsgrad	.....	5
2.3.2 Feldverlauf	.....	7
2.3.3 Badbewegung	.....	8
2.3.3.1 Badüberhöhung	.....	8
2.3.3.2 Badströmung	.....	9
2.4 Induktions-Rinnenofen	.....	11
2.4.1 Wirkungsgrad	.....	11
2.4.2 Elektromagnetisches Feld und Schmelze- strömung	.....	12
3. AUFBAU DER TIEGEOFENANLAGE	.....	15
3.1 Ofenkörper	.....	16
3.1.1 Feuerfestauskleidung	.....	16
3.1.1.1 Quarzitische Trockenmassen	.....	17
3.1.1.2 Spinellbildende Trockenmassen	.....	20
3.1.1.3 Zustelltechnik	.....	21
3.1.2 Spule und Blechpakete	.....	24
3.1.3 Kippgestell und Ofendeckel	.....	26
3.2 Stromversorgung	.....	28
3.2.1 Netz- und Mittelfrequenzanschluss	.....	29
3.2.2 Parallel- und Serien-Schwingkreisumrichter	.....	31
3.2.3 Netzrückwirkungen	.....	32
3.2.4 Optimierung der Leistungsnutzung durch Tandemanordnung	.....	34
3.2.5 Frequenzumschaltung	.....	35
3.2.6 Magnetische Streufelder	.....	36
3.3 Peripherie	.....	38
3.3.1 Rückküleinrichtungen	.....	38
3.3.1.1 Ofenkühlkreis	.....	38

3.3.1.2	Elektrikkühlkreis	40
3.3.1.3	Frostsicherheit und Wasserqualität	41
3.3.1.4	Abwärmennutzung	42
3.3.2	Chargiereinrichtungen	43
3.3.3	Abschlackeinrichtungen	46
3.3.4	Leitsysteme für die Prozesssteuerung	48
3.4	Gesamtanlage	50
4.	AUFBAU DES INDUKTIONSRINNENOFENS	55
4.1	Ofenkessel	55
4.1.1	Bauformen zum Warmhalten	55
4.1.2	Bauformen zum dosierten Gießen	58
4.1.3	Bauformen zum Schmelzen	61
4.1.4	Feuerfestauskleidung	62
4.2	Induktoren	63
4.2.1	Bauformen	64
4.2.2	Feuerfestzustellung	67
4.3	Stromversorgung	68
4.3.1	Netzfrequenz-Einspeisung	68
4.3.2	Umrichter-Stromversorgung	69
4.4	Kühleinrichtungen	60
5.	ELEKTROMAGNETISCHE RÜHRER UND PUMPEN	71
6.	OFENAUSLEGUNG UND ENERGIEAUFWAND	73
6.1	Kenndaten für das Schmelzen im Tiegelofen	73
6.1.1	Ofenleistung	73
6.1.1.1	Spezifische Enthalpie	73
6.1.1.2	Elektrische Verluste	76
6.1.1.3	Thermische Verluste	77
6.1.1.4	Ofenwirkungsgrad	78
6.1.1.5	Auslegung der Ofenleistung	78
6.1.2	Leistungsdichte und Ofengrenzleistung	79
6.1.3	Frequenz des Spulenstroms	81
6.1.4	Energiebedarf	82
6.1.5	Strompreisgestaltung und Lastmanagement	84
6.2	Kenndaten für den Rinnenofen	86
6.2.1	Schmelzen von NE-Metallen	86
6.2.2	Warmhalten und Überhitzen von Eisenschmelzen	87

7. SCHMELZMETALLURGIE VON EISEN- UND NICHTEISEN-WERKSTOFFEN	89
 7.1 Gusseisen	89
7.1.1 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	89
7.1.2 Eisenguss-Sorten	92
7.1.3 Sauerstoffhaushalt der Schmelze und C/Si-Isothermen	96
7.1.4 Impfung und Keimbildung	100
7.1.5 Magnesiumbehandlung	103
7.1.5.1 Überschütt- und Sandwichverfahren	105
7.1.5.2 Cover-Tundish-Verfahren	105
7.1.5.3 GF-Konverter-Verfahren	106
7.1.5.4 Drahteinspul-Verfahren	108
7.1.5.5 Inmold-Verfahren	108
7.1.5.6 Weitere Mg-Behandlungsverfahren	108
7.1.6 Entschwefelung	109
7.1.7 Schmelzekontrolle	110
7.1.7.1 Gießkeilprobe	110
7.1.7.2 Thermische Analyse	110
 7.2 Stahlguss	112
 7.3 Aluminium	114
7.3.1 Primär und Sekundäraluminium	114
7.3.2 Guss- und Knetlegierungen	116
7.3.3 Qualität der Aluminiumschmelze	119
7.3.4 Schmelzebehandlung	121
 7.4 Kupferwerkstoffe	122
7.4.1 Kupfergewinnung	123
7.4.2 Kupfersorten und -legierungen	123
7.4.3 Oxidierendes und reduzierendes Schmelzen	125
8. BETRIEB VON INDUKTIONSANLAGEN IN EISENGIESSEREIEN	129
 8.1 Schmelzen im Induktionstiegelofen	130
8.1.1 Verfahrenstechnische Merkmale	130
8.1.2 Induktionsofen gegenüber Kupolofen	131
8.1.3 Netzfrequenz (NF)- oder Mittelfrequenz (MF)-Tiegelofen	133
8.1.4 Einsatzstoffe	135
8.1.4.1 Stahlschrott	135
8.1.4.2 Roheisen	137
8.1.4.3 Kreislaufmaterial	138

8.1.4.4	Gussbruch	138
8.1.4.5	Späne	138
8.1.4.6	Zuschlagstoffe	139
8.1.5	Herstellen der Schmelze	139
8.1.5.1	Gattierung und Beschickung	139
8.1.5.2	Einstellen der Sollzusammensetzung der Schmelze	141
8.1.5.3	Heizen auf Abstichtemperatur	143
8.1.5.4	Prozessorgefährter Schmelzablauf	143
8.1.5.5	Ansatz- und Brückenbildung	146
8.1.6	Absaugen der Rauchgase	147
8.1.7	Schmelzen von zinkbeschichteten Blechen	149
8.1.8	Späneschmelzen	152
8.1.8.1	Einsatz von losen Spänen	152
8.1.8.2	Schmelzen von Spänebriketts	154
8.1.9	Schmelzen von Eisenschwamm	154
8.1.9.1	Herstellung	154
8.1.9.2	Charakteristische Eigenschaften	155
8.1.9.3	Schmelzverfahren	156
8.1.9.4	Wirtschaftlichkeit	158
8.1.10	Verfahrensweise während Stillstandzeiten	159
8.1.11	Feuerfestverhalten	160
8.1.10.1	Chemischer Abtrag	160
8.1.10.2	Infiltration über die Flüssig- oder Dampfphase	161
8.1.10.3	Tiegelüberwachung	162
8.2	Duplizieren, Warmhalten und Speicherschmelzen im Tiegelofen	165
8.3	Warmhalten im Rinnenofen	168
8.3.1	Einordnung in den Fertigungskreislauf	168
8.3.2	Charakteristische Merkmale des Rinnenofens	170
8.3.3	Ofenfahrweise	172
8.3.3.1	Inbetriebnahme	172
8.3.3.2	Betriebsablauf	173
8.3.3.3	Automatische Prozessüberwachung	174
8.3.3.4	Induktorwechsel	175
8.3.3.5	Vorgehen bei Störfällen	175
8.3.4	Induktorüberwachung	176
8.3.5	Verschleißverhalten der Feuerfestauskleidung	179
8.3.5.1	Auswaschen	180
8.3.5.2	Infiltration	180
8.3.5.3	Rissbildung	181
8.3.5.4	Ansatzbildung	182
8.3.6	Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit	183

8.4 Gießen mit druckbetätigten Gießöfen	184
8.4.1 Varianten und Merkmale der Teapot-Gießeinrichtung	184
8.4.2 Einsatz von beheizten und unbeheizten Gießeinrichtungen	186
8.4.3 Gießen von Mg-behandelter Schmelze	188
8.4.3.1 Ansatzbildung durch suspendierte Oxide	189
8.4.3.2 Magnesiumverdampfung	189
8.4.3.3 Magnesiumreaktionen mit Metalloxiden und Schwefel	189
8.4.3.4 Betriebserfahrungen	191
8.4.4 Gießen mit Zwischenpfannen	194
8.4.5 Stopfeneinrichtung für automatisches Gießen	195
8.4.6 Gießen im geschlossenen Regelkreis	195
8.4.7 Integriertes Impfen	197
8.4.8 Prozesskontrolle	199
8.5 Kontinuierliche Flüssigkeisenversorgung	199
8.5.1 Schmelzyzyklus einer Tandemanlage	200
8.5.2 Anlagenkonzepte für die kontinuierliche Flüssigkeisenversorgung	200
8.5.2.1 Rinnenofen als Puffer	201
8.5.2.2 Tandemanlage als Schmelz- und Pufferaggregat	202
8.5.2.3 Gießofen als Puffer	203
8.5.3 Optimierte Auslegung der Schmelz- und Gießanlage	205
9. SCHMELZEN VON STAHLGUSS IM INDUKTIONSTIEGEL-OFEN	207
9.1 Frequenz und Gasaufnahme	208
9.2 Einstellen der Sollzusammensetzung	209
10. INDUKTIONSTIEGELÖFEN IM MINISTAHLWERK	211
10.1 Der Induktionsofen im Vergleich zum Lichtbogenofen	211
10.2 Aufgabenstellung für den Schmelzbetrieb	212
10.3 Herstellung verschiedener Stahlsorten	213
10.3.1 Erschmelzen von Baustahl	213
10.3.2 Herstellen von legierten Stählen	215
10.4 Beispiel einer Induktions-Schmelzanlage zur Produktion von Baustahlknüppeln	216
10.4.1 Produktionszahlen	216
10.4.2 Auslegung der Induktionsanlage	216

11. INDUKTIONSANLAGEN IN DER ALUMINIUM-INDUSTRIE	219
11.1 Einsatz des Tiegelofens in Formgießereien	219
11.1.1 Metallurgisch-verfahrenstechnische Vorteile	220
11.1.2 Duplizieren im Tiegelofen	221
11.1.3 Feuerfestverhalten	221
11.2 Schmelzen von Aluminiumspänen	222
11.3 Induktives Schmelzen in Halbzeugwerken	225
11.3.1 Beispiele bewährter Produktionsanlagen	226
11.3.2 Feuerfestverhalten der Induktoren	228
12. INDUKTIONSANLAGEN FÜR KUPFERWERKSTOFFE	231
12.1 Induktionsöfen in Kupfer-Formgießereien	231
12.1.1 Schmelzen	231
12.1.2 Gießen mit druckbetätigten Gießöfen	232
12.2 Schmelzen in Halbzeugwerken	233
12.2.1 Rinnenöfen mit Hochleistungsinduktoren	233
12.2.2 Einsatz von Tiegelöfen	236
12.2.2.1 Schmelzen von Messingspänen	236
12.2.2.2 Recycling von Kabelabfällen	238
12.2.2.3 Flexibles Erschmelzen von Kupferlegierungen	239
13. INDUKTIONSANLAGEN FÜR ZINK	241
13.1 Umschmelzen von Zinkkathoden	241
13.2 Herstellen von Zinklegierungen	243
13.3 Bandverzinken	244
LITERATUR	245
STICHWORTVERZEICHNIS	255