

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	XIII
Einführung	1
1 Prozeßwärmeezeugung als Aufgabenstellung	3
1.1 Der Bedarf an Nutzenergien und seine Deckung	3
1.2 Ziele und Arten von Wärmeprozessen	8
1.3 Anforderungen an eine Prozeßwärmeanlage	9
1.4 Der Energiebedarf einer wärm 技ischen Anlage	12
2 Elektrowärm 技ik im Überblick	17
2.1 Systematische Einteilung	17
2.2 Technische Eigenschaften	22
2.2.1 Erreichbare Temperaturen	22
2.2.2 Zeitliche Dosierbarkeit der Leistungszufuhr	22
2.2.3 Örtliche Temperaturverteilung	23
2.2.4 Leistungsdichte, Erwärmungsgeschwindigkeit, Wirkungs - querschnitt	25
2.2.5 Physikalische und chemische Beeinflussung des Gutes	27
2.2.6 Sonstige betriebliche Gesichtspunkte	28
2.3 Betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte	28
2.3.1 Allgemeines	28
2.3.2 Beispiel: Kostenvergleich für die Schmiedeblockerwärmung	31
2.4 Nutzungsgradketten und Primärenergieaufwand	39
Ausgewählte Grundlagen	43
3 Thermodynamik	45
3.1 Energiebilanzen (1. Hauptsatz)	45
3.2 Der thermodynamische Wert von Energien (2. Hauptsatz)	49
3.3 Energetik chemischer Reaktionen	55

4	Wärmeübertragung	62
4.1	Wärmeleitung	62
4.2	Konvektion	64
4.3	Wärmestrahlung	65
4.4	Der technische Wärmedurchgang	73
5	Elektrizitätslehre	76
5.1	Wärmeerzeugung im elektrischen Leiter	76
5.1.1	Gesetzmäßigkeiten des elektrischen Stromes	76
5.1.2	Mechanismus der Stromleitung	79
5.2	Wärmeerzeugung im elektrischen Nichtleiter	87
5.2.1	Der Vorgang der Polarisation im Nichtleiter	87
5.2.2	Das Ersatzschaltbild des verlustbehafteten Kondensators	91
5.2.3	Das Dielektrikum im elektrischen Wechselfeld	92
5.2.4	Feldübergänge zwischen verschiedenen Dielektrika	96
5.2.5	Wärmeerzeugung im gemischt leitenden Dielektrikum	98
5.3	Das elektromagnetische Wechselfeld	102
5.3.1	Die MAXWELLSchen Gleichungen	102
5.3.2	Energieinhalt und Leistungsfluß	104
5.3.3	Eindringverhalten elektromagnetischer Felder	106
5.4	Induktive Energieübertragung	116
5.4.1	Der magnetische Kreis	116
5.4.2	Elektrische Spannungen	120
5.4.3	Induktivitäten, Trafo – Ersatzschaltbild	122
5.4.4	Gesamtimpedanz	126
Technologien und ihre Anwendung		129
6	Unmittelbare Widerstandserwärmung	131
6.1	Standanlagen zur konduktiven Stangenerwärmung	131
6.1.1	Anwendung und Anlagenaufbau	131
6.1.2	Erwärmungsablauf	132
6.1.3	Energiebedarf	138
6.2	Durchlaufanlagen zur konduktiven Drahterwärmung	141
6.3	Widerstandsschweißen	142
6.4	Elektro – Schlacke – Umschmelzen	145
6.4.1	Anlagenaufbau und Funktionsprinzip	145
6.4.2	Verfahrenstechnische Gesichtspunkte und Betriebsweise	147
6.4.3	Energieverbrauch	148
6.4.4	Elektrotechnische Gesichtspunkte	149
6.4.5	Anwendung	150

6.5	Elektrolyseofen zur Aluminiumgewinnung	151
6.5.1	Allgemeine Verfahrensmerkmale und Anwendung der Schmelzflußelektrolyse	151
6.5.2	Anlagenaufbau und -betrieb	152
6.5.3	Reaktionsabläufe	154
6.5.4	Energiebilanz	156
6.6	Graphitierungsofen	160
6.6.1	Eigenschaften und Verwendung von Graphit	160
6.6.2	Verfahrensgang	161
6.6.3	Aufbau eines Graphitierungsofens	161
6.6.4	Ablauf eines Graphitierungsprozesses	163
6.7	Siliciumcarbidofen	166
6.7.1	Eigenschaften, Verwendung und Gewinnung von SiC	166
6.7.2	Aufbau und Betrieb des Ofens	167
6.8	Elektro - Glasschmelzofen	168
6.8.1	Verfahrensgang	168
6.8.2	Vollelektrisch beheizter Glasschmelzofen	169
6.8.3	Elektrozusatzheizung	171
6.9	Elektroden - Salzbadofen	172
6.9.1	Aufbau und Betriebsweise	172
6.9.2	Anwendung	175
6.10	Elektrodenkessel	175
7	Mittelbare Widerstandserwärmung	179
7.1	Funktionsprinzip und Anwendung	179
7.2	Beschickung und Führung des Erwärmungsgutes	180
7.3	Ofenraum	182
7.4	Ofengehäuse	183
7.5	Heizelemente	185
7.5.1	Widerstands - Heizleiter	185
7.5.2	Infrarotstrahler	189
7.6	Spezielle Ofenbauarten	194
7.6.1	Infrarotofen	194
7.6.2	Wirbelbettöfen	197
8	Induktive Erwärmung	200
8.1	Grundprinzipien	200
8.1.1	Erwärmung mit Eisenkern	200
8.1.2	Erwärmung ohne Eisenkern	201
8.2	Frequenzerzeugung und Netzanschluß	207
8.2.1	Frequenzbereiche	207

8.2.2	Versorgung mit Netzfrequenz	208
8.2.3	Frequenzvervielfacher	209
8.2.4	Rotierender Umformer	210
8.2.5	Statischer Umrichter	212
8.2.6	Röhrengenerator	217
8.3	Induktives Erwärmen zum Warmumformen	218
8.3.1	Erwärmen im axialen Durchlauf	218
8.3.2	Erwärmen im Querdurchlauf	226
8.3.3	Technologische und betriebliche Anwendungskriterien	226
8.4	Induktives Glühen	228
8.5	Induktives Härteln	230
8.5.1	Vorgang und Zweck	230
8.5.2	Prozeßparameter	232
8.5.3	Der Induktor	233
8.5.4	Arbeitsverfahren und Anwendung	235
8.6	Induktives Löten	239
8.7	Induktives Schweißen	241
8.8	Induktives Schmelzen	242
8.8.1	Induktions – Rinnenofen	242
8.8.2	Induktions – Tiegelofen	244
8.8.3	Anwendung	251
9	Dielektrische Erwärmung	254
9.1	Kondensatorfelderwärmung	254
9.1.1	Frequenz, Feldstärke, Elektrodenanordnung	254
9.1.2	Energieversorgung	256
9.1.3	Erwärmung im Plattenkondensator	256
9.1.4	Andere Kondensatorarten	261
9.1.5	Spannungsverteilung an den Kondensatorelektroden	264
9.1.6	Hochfrequenz – Trocknung	266
9.1.7	Anwendungsgebiete	269
9.1.7.1	Allgemeines	269
9.1.7.2	Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen	270
9.1.7.3	Vorwärmung von Kunstharz – Preßmassen	271
9.1.7.4	Holzverleimung	272
9.1.7.5	Textil – und Chemiefasertrocknung	274
9.1.7.6	Papiertrocknung	276
9.1.7.7	Trocknung und Aushärtung von Gußkernen	278
9.2	Mikrowellenerwärmung	280
9.2.1	Frequenzbänder	280
9.2.2	Energieeintrag in das Erwärmungsgut	280

9.2.3	Erwärmungsanlage	283
9.2.4	Magnetron	286
9.2.5	Energiebilanz	291
9.2.6	Anwendung	293
10	Lichtbogenerwärmung	295
10.1	Lichtbogenofen zum Eisen – und Stahlschmelzen	295
10.1.1	Drehstrom – Lichtbogenofen	295
10.1.2	Gleichstrom – Lichtbogenofen	306
10.1.3	Einsatzgebiete, Betriebsweise, Energiebedarf	309
10.2	Lichtbogen – Reduktionsofen	312
10.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	312
10.2.2	Einsatzbereiche, Energieverbrauch	313
10.3	Vakuum – Lichtbogenofen	314
10.4	Lichtbogenschweißen	316
10.4.1	Lichtbogen zwischen Elektrode und Werkstück	316
10.4.2	Lichtbogen zwischen den zu verschweißenden Teilen	322
10.5	Funkenerodieren	324
10.5.1	Anlagenaufbau und Funktionsweise	324
10.5.2	Bearbeitungskenngrößen und Betriebsparameter	327
10.5.3	Funkenerodierendes Senken	329
10.5.4	Funkenerodierendes Schneiden	330
11	Plasmastrahlerwärmung	331
11.1	Plasmastrahlerzeugung	331
11.1.1	Aufgabenstellung	331
11.1.2	Plasmagenerator mit Bogenentladung	334
11.1.3	Plasmagenerator mit HF – Feld	336
11.2	Einwirkung des Plasmastrahls auf das Erwärmungsgut	337
11.3	Anwendung	338
11.3.1	Plasmagasofen	338
11.3.2	Plasmaschmelzen	341
11.3.3	Plasmaschweißen	343
11.3.4	Plasmaschneiden	345
11.3.5	Plasmaspritzen	347
12	Elektronenstrahlerwärmung	348
12.1	Einwirkung des Elektronenstrahls auf das Erwärmungsgut	348
12.2	Elektronenstrahlkanone	352
12.3	Anwendung	355
12.3.1	Elektronenstrahlschmelzen	356
12.3.2	Elektronenstrahlvergüten	357

12.3.3	Elektronenstrahlschweißen	358
12.3.4	Elektronenstrahlbohren	361
13	Laserstrahlerwärmung	364
13.1	Das Laserprinzip	364
13.2	Laserbauarten und ihre Eigenschaften	367
13.2.1	Nd – YAG – Laser	368
13.2.2	CO ₂ – Laser	372
13.2.3	Excimerlaser	378
13.3	Einwirkung des Laserstrahls auf das Erwärmungsgut	379
13.4	Anwendung	382
13.4.1	Laserschneiden	382
13.4.2	Laserschweißen	385
13.4.3	Laserbohren	387
13.4.4	Oberflächenbehandlung mit Laser	388
Literaturverzeichnis		390
Sachverzeichnis		396