

---

# **ELEKTRO- THERMISCHE VERFAHRENS- TECHNIK**

**VULKAN-VERLAG ESSEN**

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Elektroprozeßwärmeverfahren in der Industrie .....</b>	<b>1</b>
1.1	Übersicht .....	1
1.2	Verfahrenstechnische Vorteile .....	4
1.3	Auswahl .....	6
<b>2</b>	<b>Verfahrenstechnische Grundlagen .....</b>	<b>9</b>
2.1	Elektrischer Strom in festen Körpern, Gasen und Flüssigkeiten ...	9
2.1.1	Wärmeerzeugung im elektrischen Strömungsfeld .....	9
2.1.2	Stromleitung in festen Körpern .....	11
2.1.3	Stromleitung in Gasen .....	12
2.1.4	Stromleitung in Flüssigkeiten .....	18
2.2	Elektromagnetische Induktion in leitenden Materialien .....	20
2.2.1	Grundlagen .....	20
2.2.2	Stromverdrängung, Eindringtiefe .....	21
2.2.3	Leistungsumsatz, Wirkungsgrad .....	23
2.3	Elektrische Polarisation in dielektrischen Materialien .....	26
2.3.1	Grundlagen .....	26
2.3.2	Leistungsumsatz, Eindringtiefe .....	28
2.4	Elektronen- und Ionenstrahlen .....	30
2.4.1	Wirkungen am Prozeßort .....	30
2.4.2	Strahlerzeugung und -führung .....	32
2.4.3	Strahlleistung, Reichweite .....	32
2.5	Laserstrahlen .....	35
2.5.1	Wirkungen am Prozeßort .....	35
2.5.2	Strahlerzeugung .....	36
2.5.3	Laserarten .....	38
2.5.4	Fokussierung, Leistungseintrag .....	40
2.6	Wärmeübertragung .....	41
2.6.1	Grundbegriffe .....	41
2.6.2	Wärmeleitung .....	41
2.6.3	Konvektion .....	42
2.6.4	Wärmestrahlung .....	44
2.6.5	Wärmedurchgang .....	47
2.7	Rationeller Energieeinsatz .....	48

2.7.1	Energiebilanz .....	48
2.7.2	Wirkungsgrad, Nutzungsgrad .....	50
<b>3</b>	<b>Schmelzen und Warmhalten .....</b>	<b>53</b>
3.1	Einführung .....	53
3.2	Gewinnung von Grundstoffen .....	54
3.2.1	Elektrothermische Reduktion .....	54
3.2.1.1	Technologie .....	54
3.2.1.2	Herstellung von Ferrolegierungen, Kalziumkarbid und Phosphor, Verhüttung von Buntmetallen .....	56
3.2.1.3	Herstellung von Siliziumkarbid und Elektrographit .....	58
3.2.2	Schmelzflußelektrolyse von Leichtmetallen .....	60
3.2.2.1	Technologie .....	60
3.2.2.2	Gewinnung von Aluminium .....	62
3.2.2.3	Gewinnung von Magnesium .....	62
3.2.2.4	Gewinnung von Natrium .....	63
3.3	Elektrostahlerzeugung .....	63
3.3.1	Technologie .....	63
3.3.2	Lichtbogenschmelzen .....	65
3.3.2.1	Drehstrom-Lichtbogenofen .....	65
3.3.2.2	Gleichstrom-Lichtbogenofen .....	68
3.3.3	Plasmaschmelzen .....	69
3.4	Umschmelzen und Herstellung von Sonderwerkstoffen .....	71
3.4.1	Elektroschlackeumschmelzen .....	71
3.4.2	Vakuum-Metallurgie .....	73
3.4.2.1	Technologie .....	73
3.4.2.2	Vakuum-Lichtbogenschmelzen .....	74
3.4.2.3	Elektronenstrahlschmelzen .....	75
3.4.2.4	Vakuum-Induktionsschmelzen .....	79
3.4.3	Herstellung von Glas .....	79
3.4.3.1	Technologie .....	79
3.4.3.2	Vollelektrisch beheizte Glasschmelze .....	80
3.4.3.3	Elektrische Zusatzbeheizung von Glasschmelzen .....	81
3.4.4	Züchten von Einkristallen aus der Schmelze .....	82
3.4.4.1	Technologie .....	82
3.4.4.2	Herstellung von Silizium-Einkristallen .....	86
3.4.5	Herstellung von amorphen Werkstoffen .....	90
3.5	Schmelzen von Gußwerkstoffen .....	91
3.5.1	Technologie .....	91
3.5.2	Induktionsschmelzen .....	93
3.5.2.1	Induktionstiegelofen .....	93
3.5.2.2	Induktionsrinnenofen .....	97
3.5.3	Widerstandsbeheizter Tiegelofen .....	101

<b>4</b>	<b>Erwärmen und Trocknen</b>	105
4.1	Einführung	105
4.2	Erwärmen für die Warmformgebung	106
4.2.1	Erwärmen für die Warmformung von Metallen	106
4.2.1.1	Technologie	106
4.2.1.2	Konduktive Erwärmung	107
4.2.1.3	Induktionserwärmung	110
4.2.1.4	Indirekte Widerstandserwärmung	116
4.2.2	Erwärmen für die Warmformgebung von Kunststoffen	117
4.2.2.1	Technologie	117
4.2.2.2	Formpressen und Spritzpressen von Duroplasten	118
4.2.2.3	Spritzgießen von Duro- und Thermoplasten	120
4.2.2.4	Warmformung von Thermoplasten	122
4.2.3	Ziehen von Glasfasern	124
4.3	Erwärmen und Trocknen diverser Stoffe	126
4.3.1	Technologie	126
4.3.2	Trocknen von Farben und Lacken	133
4.3.3	Trocknen und Brennen von Keramik	135
4.3.4	Erwärmen, Auftauen und Trocknen von Nahrungs- und Arzneimitteln	136
4.3.5	Erwärmen und Trocknen von Textilien und Leder	140
4.3.6	Erwärmen und Trocknen von Papier und Karton	142
4.3.7	Erwärmen und Vulkanisieren von Gummi	143
4.3.8	Trocknen von Holz	144
4.4	Dampf- und Heißwassererzeugung	146
4.5	Erwärmen zur Abfallentsorgung	148
<b>5</b>	<b>Schweißen und Verbinden</b>	153
5.1	Einführung	153
5.2	Schweißen	154
5.2.1	Technologie	154
5.2.2	Schmelzschweißen von Metallen	161
5.2.2.1	Lichtbogenschweißen	161
5.2.2.2	Elektroschlackeschweißen	171
5.2.2.3	Plasmaschweißen	173
5.2.2.4	Elektronenstrahlschweißen	175
5.2.2.5	Laserschweißen	178
5.2.2.6	Direct Bonding	183
5.2.3	Preßschweißen von Metallen	185
5.2.3.1	Widerstandsschweißen	185
5.2.3.2	Lichtbogenpreßschweißen	195
5.2.3.3	Konduktives und induktives Schweißen von Rohren	196

5.2.3.4	Diffusionsschweißen .....	199
5.2.4	Preßschweißen von Kunststoffen .....	201
5.2.4.1	Dielektrisches Hochfrequenz-Schweißen .....	201
5.2.4.2	Heizelementschweißen .....	206
5.2.4.3	Lichtstrahlschweißen .....	208
5.3	Löten .....	210
5.3.1	Technologie .....	210
5.3.2	Weichlöten .....	213
5.3.3	Hartlöten .....	215
5.3.4	Hochtemperaturlöten .....	217
5.4	Holzverkleben .....	217
5.4.1	Technologie .....	218
5.4.2	Spanplattenherstellung .....	219
<b>6</b>	<b>Wärmebehandeln und Oberflächenmodifikation .....</b>	<b>223</b>
6.1	Einführung .....	223
6.2	Wärmebehandeln .....	224
6.2.1	Technologie .....	224
6.2.2	Wärmebehandlungsanlagen .....	225
6.2.3	Thermische Verfahren .....	235
6.2.3.1	Glühen .....	235
6.2.3.2	Härten, Anlassen, Vergüten .....	240
6.2.3.3	Isothermisches Umwandeln .....	250
6.2.4	Thermochemische Verfahren .....	251
6.2.4.1	Einsatzhärten .....	251
6.2.4.2	Nitrieren und Nitrocarburieren .....	252
6.3	Oberflächenmodifikation .....	254
6.3.1	Einteilung .....	254
6.3.2	Aufschmelzen .....	254
6.3.3	Oberflächenmodifikation mit Ionenstrahlen .....	260
6.3.4	Beschichten durch Gasphasenabscheidung .....	261
6.3.4.1	Physikalische Gasphasenabscheidung .....	261
6.3.4.2	Chemische Gasphasenabscheidung .....	268
6.4	Thermisches Beschichten .....	269
6.4.1	Thermisches Spritzen .....	269
6.4.2	Schmelztauchen .....	272
6.4.3	Auftragschweißen .....	273
<b>7</b>	<b>Abtragen und Trennen .....</b>	<b>277</b>
7.1	Einführung .....	277
7.2	Herstellung von Raumformen und Konturen .....	277

7.2.1	Technologie der funkenerosiven Bearbeitung .....	277
7.2.1.1	Verfahrenskenngrößen und Einflußgrößen .....	277
7.2.1.2	Dielektrische Arbeitsflüssigkeit .....	282
7.2.1.3	Werkzeugelektroden .....	285
7.2.2	ED-Senken .....	286
7.2.2.1	Konventionelles ED-Senken .....	286
7.2.2.2	ED-Senken mit überlagerter Bewegung .....	290
7.2.3	ED-Schneiden .....	295
7.3	Schneiden und Trennen von Flach- und Formteilen .....	299
7.3.1	Plasmaschneiden .....	300
7.3.1.1	Technologie .....	300
7.3.1.2	Verfahrensvarianten .....	305
7.3.2	Laserschneiden .....	311
7.3.2.1	Technologie .....	311
7.3.2.2	Schneiden von Nichtmetallen .....	314
7.3.2.3	Schneiden von Metallen .....	317
7.3.3	Ritzen und Anreißen .....	319
7.3.4	Elektrokontaktbearbeitung .....	320
7.4	Herstellung von Bohrungen und Durchbrüchen .....	321
7.4.1	Technologie .....	322
7.4.2	Elektronenstrahlbohren .....	323
7.4.3	Laserbohren .....	324
7.5	Abtragen von dünnen Schichten .....	324
7.5.1	Dünnschichtabtragen mit Elektronenstrahlen .....	325
7.5.2	Dünnschichtabtragen mit Laserstrahlen .....	325
7.5.3	Dünnschichtabtragen mit Ionenstrahlen .....	326
<b>Formelzeichen .....</b>		<b>329</b>
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>		<b>332</b>