

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	1
	Literatur zu Kapitel 1 . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Herstellung von Pulvern</b> . . . . .	5
2.1	Mechanische Zerkleinerung ohne Phasenumwandlung . . . . .	6
2.2	Mechanische Zerkleinerung mit Phasenumwandlung . . . . .	10
2.2.1	Druckluft- und Druckwasserverdüsung . . . . .	12
2.2.2	Inertgasverdüsung . . . . .	16
2.2.3	Spezielle Methoden der Dispergierung von Schmelzen . . . . .	19
2.2.4	Faserherstellung . . . . .	22
2.3	Trockene Reduktion von Metallverbindungen . . . . .	24
2.3.1	Reduktion von Eisenoxiden . . . . .	24
2.3.2	Reduktion von Nichteisenmetallverbindungen . . . . .	28
2.3.3	Reduktion von Metallverbindungen mit Metallen . . . . .	31
2.4	Pulvergewinnung durch Elektrolyse . . . . .	32
2.4.1	Pulvergewinnung aus wässrigen Elektrolyten . . . . .	33
2.4.2	Schmelzflusselektrolyse . . . . .	35
2.5	Nasse Reduktion von Metallverbindungen . . . . .	36
2.6	Spezielle Verfahren der Pulverherstellung . . . . .	38
2.6.1	Herstellung mikro- und nanokristalliner Feinstpulver durch Verdampfung und Kondensation . . . . .	39
2.6.2	Pulvergewinnung durch Gasphasenreaktionen . . . . .	41
2.6.3	Herstellung von Hartstoffpulvern . . . . .	43
2.6.4	Herstellung von superharten Hartstoffen . . . . .	44
2.6.5	Pulverherstellung durch chemische Fällung . . . . .	46
	Literatur für Kapitel 2 . . . . .	47
<b>3</b>	<b>Aufbereitung der Pulver</b> . . . . .	49
3.1	Klassieren der Pulver . . . . .	49
3.2	Glühbehandlung von Pulvern . . . . .	50
3.3	Zugabe von Presshilfsmitteln . . . . .	51
3.4	Mischen von homogenen und heterogenen Pulvern . . . . .	53
3.5	Anlegieren und Beschichten von Pulvern . . . . .	58
3.5.1	Anlegieren von Pulvern . . . . .	59
3.5.2	Beschichten von Pulvern . . . . .	61
3.6	Mechanisches Legieren von Pulvern . . . . .	64

3.7	Granulieren von Pulvern . . . . .	65
	Literatur zu Kapitel 3 . . . . .	68
<b>4</b>	<b>Prüfung und Charakterisierung der Pulver</b> . . . . .	<b>71</b>
4.1	Teilchengrößenbestimmung . . . . .	71
4.1.1	Trennverfahren . . . . .	72
4.1.2	Sedimentationsverfahren . . . . .	77
4.1.3	Zählverfahren . . . . .	80
4.1.3.1	Zählung von Feldstörungen . . . . .	80
4.1.3.2	Laserstrahlverfahren . . . . .	81
4.1.3.3	Metallographische Verfahren . . . . .	83
4.2	Ermittlung der spezifischen Oberfläche . . . . .	89
4.3	Untersuchung der Mischungsgüte . . . . .	94
4.3.1	Bestimmung der Mischungsgüte im Makrobereich . . . . .	96
4.3.2	Kennzeichnung der Mischungsgüte im Mikrobereich . . . . .	97
4.4	Technologische Prüfmethoden . . . . .	100
4.4.1	Fließverhalten und Haftfähigkeit . . . . .	100
4.4.2	Füll- und Klopfdichte . . . . .	104
4.4.3	Pressverhalten der Pulver . . . . .	107
	Literatur zu Kapitel 4 . . . . .	109
<b>5</b>	<b>Formgebung der Pulver</b> . . . . .	<b>111</b>
5.1	Grundlagen und Vorgänge der Verdichtung . . . . .	111
5.1.1	Pressdruck und Verdichtung . . . . .	112
5.1.2	Pressen in Formen . . . . .	114
5.2	Formgebung mit Druckerzeugung bei Normaltemperatur . . . . .	116
5.2.1	Zweiseitiges Pressen in Matrizen . . . . .	116
5.2.1.1	Pressen und Werkzeuge . . . . .	117
5.2.1.2	Doppelpressverfahren und Warmpressen . . . . .	121
5.2.1.3	Gestaltung und Pressen komplizierter Formteile . . . . .	122
5.2.2	Isostatisches Pressen . . . . .	127
5.2.2.1	Nasspressverfahren . . . . .	128
5.2.2.2	Trockenpressverfahren . . . . .	129
5.2.3	Walzen von Pulvern . . . . .	130
5.2.4	Impulspressen . . . . .	133
5.3	Formgebung mit Druckerzeugung bei erhöhter Temperatur . . . . .	135
5.3.1	Heißpressen (Drucksintern) und heißisostatisches Pressen . . . . .	135
5.3.2	Sinterschmieden . . . . .	139
5.3.3	Strangpressen . . . . .	141
5.4	Formgebung ohne Druckerzeugung . . . . .	144
5.4.1	Schlickergießen und nasse Verfahren . . . . .	144
5.4.2	Pulverspritzgussverfahren . . . . .	145
5.4.3	Sprühkompaktieren . . . . .	149
	Literatur zu Kapitel 5 . . . . .	152

<b>6</b>	<b>Sintern, Verfahren und Anlagen</b> .....	155
6.1	Schutzatmosphären .....	157
6.1.1	Reine Gase .....	159
6.1.2	Ammoniak-Spaltgas .....	162
6.1.3	Über Verbrennung von Kohlenwasserstoffen hergestellte Schutzgase .....	163
6.1.4	Oxidierende Atmosphären .....	165
6.1.5	Vakuum .....	165
6.2	Beheizung der Öfen .....	166
6.2.1	Heizleiter auf Nickel-Chrom-Basis .....	167
6.2.2	Heizleiter auf Eisen-Chrom-Aluminium-Basis .....	167
6.2.3	Siliciumcarbid-Heizelemente .....	168
6.2.4	Molybdändisilicid-Heizleiter .....	168
6.2.5	Molybdän- und Wolfram-Heizleiter .....	168
6.2.6	Graphit-Heizleiter .....	169
6.2.7	Induktive Beheizung .....	169
6.2.8	Mikrowellenheizung .....	170
6.3	Sinteröfen .....	171
6.3.1	Kontinuierlich arbeitende Sinteröfen .....	172
6.3.2	Periodisch arbeitende Sinteröfen .....	179
6.4	Tränken .....	182
	Literatur zu Kapitel 6 .....	184
<b>7</b>	<b>Prüfung von Sinterwerkstoffen</b> .....	185
7.1	Dichte, Porosität und Schwindung .....	187
7.2	Festigkeit, Elastizitätsmodul und Härte .....	191
7.3	Bruchzähigkeit und -sicherheit .....	197
7.4	Gefügeuntersuchung von Sinterwerkstoffen .....	203
7.4.1	Herstellung der Schlißfläche .....	203
7.4.2	Entwicklung des Gefüges .....	205
7.4.3	Quantitative Gefügeanalyse .....	208
<b>8</b>	<b>Formteile aus Sintereisen oder Sinterstahl</b> .....	215
8.1	Technologische Grundoperationen .....	219
8.2	Nachbehandlung von Sinterformteilen .....	228
8.3	Sinterformteile auf Eisenbasis .....	234
8.3.1	Niedriglegierte Sinterstähle .....	234
8.3.2	Hochlegierte Sinterstähle .....	242
8.4	Herstellung und Eigenschaften geschmiedeter Sinterstähle .....	248
	Literatur zu Kapitel 8 .....	261
<b>9</b>	<b>Sinterwerkstoffe aus Nichteisenmetallen</b> .....	263
9.1	Kupferbasis-Werkstoffe .....	264
9.2	Aluminiumbasis-Werkstoffe .....	271
9.2.1	Sinterformteile aus Aluminium .....	271
9.2.2	Aluminium-Hochleistungswerkstoffe .....	275
9.2.3	Aluminiumverbundwerkstoffe .....	280

9.3	Titanbasis-Werkstoffe . . . . .	281
9.4	Berylliumwerkstoffe . . . . .	286
	Literatur zu Kapitel 9 . . . . .	287
<b>10</b>	<b>Hochdichte und hochlegierte Sinterwerkstoffe</b> . . . . .	<b>291</b>
10.1	Gesinterte Schnellarbeitsstähle und hartstoffangereicherte Eisenbasislegierungen . . . . .	292
10.2	Pulvermetallurgisch hergestellte Superlegierungen . . . . .	303
	Literatur zu Kapitel 10 . . . . .	314
<b>11</b>	<b>Gleitwerkstoffe und Sinterlager</b> . . . . .	<b>317</b>
11.1	Ölgetränkte Sinterwerkstoffe . . . . .	318
11.2	Poröse Sinterwerkstoffe für Gasschmierung . . . . .	325
11.3	Metall-Festschmierstoff-Verbundwerkstoffe . . . . .	326
11.4	Metall-Polytetrafluorethylen-Verbundwerkstoffe . . . . .	332
11.5	Gleitwerkstoffe auf Stützschalen . . . . .	333
11.5.1	Metallische Gleitwerkstoffe . . . . .	333
11.5.2	Metall-Hochpolymer-Verbundgleitlager . . . . .	334
11.6	Sintergleitwerkstoffe für hohe Beanspruchungen . . . . .	337
	Literatur zu Kapitel 11 . . . . .	340
<b>12</b>	<b>Reibwerkstoffe</b> . . . . .	<b>341</b>
12.1	Reibwerkstoffe für Trockenlauf . . . . .	342
12.1.1	Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	342
12.1.2	Herstellung . . . . .	346
12.1.3	Werkstoffe, Eigenschaften, Anwendung . . . . .	348
12.1.3.1	Werkstoffe auf Kupferbasis . . . . .	348
12.1.3.2	Werkstoffe auf Eisenbasis . . . . .	351
12.1.3.3	Hochleistungswerkstoffe . . . . .	354
12.2	Reibwerkstoffe für Öllauf . . . . .	360
12.2.1	Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	360
12.2.2	Herstellung . . . . .	363
12.2.3	Werkstoffe, Eigenschaften, Anwendung . . . . .	364
	Literatur zu Kapitel 12 . . . . .	368
<b>13</b>	<b>Hochporöse Werkstoffe und Filter</b> . . . . .	<b>371</b>
13.1	Filter und durchströmte Werkstoffe . . . . .	372
13.1.1	Einsatz und Anwendung . . . . .	372
13.1.2	Prüfung der spezifischen Eigenschaften . . . . .	374
13.1.3	Herstellung und Eigenschaften . . . . .	379
13.2	Zellulare metallische Werkstoffe . . . . .	388
13.2.1	Metallschaum-Treibmittel-Verfahren . . . . .	389
13.2.2	Metallpulver-Platzhalter-Verfahren . . . . .	390
13.2.3	Offenzellige Metallschäume . . . . .	390
13.2.4	Hohlkugelstrukturen . . . . .	392
13.3	Hochporöse Werkstoffe für Sonderzwecke . . . . .	393
	Literatur zu Kapitel 13 . . . . .	395

<b>14</b>	<b>Kontaktwerkstoffe</b> .....	397
14.1	Vorgänge an Kontakten .....	398
14.2	Werkstoffe auf Basis hochschmelzender Metalle .....	400
14.2.1	Werkstoffherstellung .....	401
14.2.2	Sinterwolfram .....	402
14.2.3	Sintermolybdän und Sinterrhenium .....	403
14.2.4	Wolfram–Kupfer-Verbundwerkstoffe .....	404
14.2.5	Wolfram–Silber-Verbundwerkstoffe .....	406
14.2.6	Wolframcarbid–Silber-Verbundwerkstoffe .....	407
14.2.7	Kontaktwerkstoffe für Vakuumschaltgeräte .....	408
14.3	Verbundwerkstoffe auf Silberbasis .....	411
14.3.1	Werkstoffherstellung .....	411
14.3.2	Silber–Metalloxid-Verbundwerkstoffe .....	412
14.3.2.1	Silber–Cadmiumoxid .....	412
14.3.2.2	Silber–Zinndioxid .....	415
14.3.2.3	Silber–Zinkoxid- und sonstige Silber–Metalloxid-Werkstoffe .....	419
14.3.3	Silber–Nickel-Verbundwerkstoffe .....	419
14.4	Metall–Graphit-Verbundwerkstoffe .....	422
14.4.1	Silber–Graphit-Verbundwerkstoffe .....	423
14.4.2	Kupfer–Graphit-Verbundwerkstoffe .....	424
	Literatur zu Kapitel 14 .....	425
<b>15</b>	<b>Hochschmelzende Metalle und Legierungen</b> .....	429
15.1	Herstellung von Halbzeugen und Formteilen .....	431
15.1.1	Sintern von Wolfram, Molybdän und Tantal .....	431
15.1.2	Weiterverarbeitung der Sinterteile .....	434
15.2	Anwendungen von Wolfram-, Molybdän- und Tantal- Werkstoffen .....	442
15.2.1	Hochwarmfeste Bauteile .....	442
15.2.2	Korrosiver Beanspruchung ausgesetzte Teile .....	448
15.2.3	Bauelemente der Elektrotechnik und Elektronik .....	449
15.3	Schwermetalle .....	456
	Literatur zu Kapitel 15 .....	458
<b>16</b>	<b>Pulver- und Sintermagnete</b> .....	461
16.1	Pulverkerne .....	463
16.2	Sintereisenmagnete .....	468
16.3	AlNiCo-Sintermagnete .....	473
16.3.1	Herstellung der AlNi Co-Sinterteile .....	473
16.3.2	Wärmebehandlung, Gefüge und Eigenschaften .....	476
16.4	Hartmagnete aus intermetallischen Phasen von Seltenerd- und Übergangsmetallen .....	479
16.4.1	Samarium-Cobalt-Magnete .....	479
16.4.2	Neodym-Eisen-Bor-Magnete .....	490
	Literatur zu Kapitel 16 .....	502

---

<b>17</b>	<b>Hartstoffe und Hartstoffverbunde</b> . . . . .	505
17.1	Übersicht und Charakterisierung der Hartstoffe . . . . .	505
17.1.1	Metallische Hartstoffe. . . . .	505
17.1.2	Nichtmetallische Hartstoffe . . . . .	507
17.2	Hartmetalle . . . . .	510
17.2.1	Bildung des Hartmetallgefüges. . . . .	511
17.2.2	Mechanische Eigenschaften von Hartmetallen . . . . .	514
17.2.3	Herstellung von Hartmetallen . . . . .	518
17.2.4	Anwendung unbeschichteter Hartmetalle . . . . .	520
17.2.5	Beschichtung von Hartmetall . . . . .	525
17.2.6	Hartmetalle mit verändertem Bindemetall oder Härteträger. . . . .	530
17.3	Werkzeuge aus superharten Stoffen . . . . .	532
17.4	Cermets . . . . .	536
17.4.1	Einflussnahme von Eigenschaften der Komponenten. . . . .	537
17.4.2	Anwendung und Entwicklungsaussichten . . . . .	538
	Literatur zu Kapitel 17 . . . . .	539
	<b>Anhang: Normen</b> . . . . .	541
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	547