

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	13
2. Herstellung der Pulver	15
2.1. Qualitative Veränderungen bei der Dispergierung	16
2.2. Mechanische Zerkleinerung ohne Phasenumwandlung	20
2.2.1. Dispergierung durch Fremdzerkleinerung	21
2.2.2. Dispergierung durch Eigenzerkleinerung	24
2.3. Mechanische Zerkleinerung mit Phasenumwandlung	24
2.3.1. Druckluft- und Druckwasserverdüsung	25
2.3.2. Inertgasverdüsung	30
2.3.3. Spezielle Methoden der Dispergierung von Schmelzen	30
2.4. Trockene Reduktion von Metallverbindungen	34
2.4.1. Reduktion von Eisenoxiden	36
2.4.2. Reduktion von Nichteisenmetallverbindungen	38
2.4.3. Reduktion von Metallverbindungen mit Metallen	40
2.5. Nasse Reduktion von Metallverbindungen	40
2.6. Spezielle Verfahren der Pulverherstellung	43
2.6.1. Herstellung ultrafeiner Pulver durch Verdampfung und Kondensation	43
2.6.2. Pulvergewinnung durch Gasphasenreaktionen	44
2.6.3. Herstellung von Hartstoffpulvern	46
2.6.4. Herstellung von superharten Hartstoffen	48
2.6.5. Pulverherstellung durch chemische Fällung	50
2.7. Pulvergewinnung durch Elektrolyse	54
2.7.1. Pulvergewinnung aus wäßrigen Elektrolyten	56
2.7.2. Metallabscheidung an flüssigen Katoden	58
2.7.3. Schmelzflußelektrolyse	58
<i>Literaturhinweise</i>	59
3. Aufbereitung der Pulver	61
3.1. Klassieren der Pulver	61
3.2. Glühbehandlung von Pulvern	62
3.3. Zugabe von Preßhilfs- und Bindemitteln	62
3.4. Mischen von homogenen und heterogenen Pulvern	64
3.5. Granulieren von Pulvern	70
<i>Literaturhinweise</i>	72

4. Prüfung und Charakterisierung der Pulver	74
4.1. Teilchengrößenbestimmung	74
4.1.1. Trennverfahren	76
4.1.2. Sedimentationsverfahren	80
4.1.3. Zählverfahren	84
4.1.3.1. Zählung der Feldstörungen	84
4.1.3.2. Metallographische Verfahren	85
4.2. Physikalische Untersuchungen	88
4.2.1. Ermittlung der spezifischen Oberfläche	88
4.2.2. Charakterisierung des Störgrades	93
4.3. Untersuchung der Mischungsgüte und der Entmischungsneigung	97
4.3.1. Bestimmung der Mischungsgüte im Makrobereich	98
4.3.2. Kennzeichnung der Mischungsgüte im Mikrobereich	99
4.4. Technologische Prüfmethode(n)	102
4.4.1. Fließverhalten und Haftfähigkeit	102
4.4.2. Schütt- und Klopfichte	106
4.4.3. Preßverhalten der Pulver	108
<i>Literaturhinweise</i>	110
5. Formgebung der Pulver	112
5.1. Grundlagen und Vorgänge der Verdichtung	112
5.1.1. Verdichtungs Vorgänge im Pulver bei Druckanwendung	113
5.1.2. Pressen in Formen	115
5.1.3. Aktivierende Wirkung des Pressens	117
5.2. Formgebung mit Druckanwendung	118
5.2.1. Pressen in Matrizen	118
5.2.1.1. Pressen und Werkzeuge	119
5.2.1.2. Preßverhalten des Pulvers	122
5.2.1.3. Gestaltung komplizierter Formteile	123
5.2.1.4. Heißpressen (Drucksintern)	127
5.2.2. Strangpressen	128
5.2.3. Walzen von Pulvern	129
5.2.4. Isostatisches Pressen	133
5.2.4.1. Isostatisches Kaltpressen	134
5.2.4.2. Isostatisches Heißpressen	136
5.2.5. Sinterschmieden	139
5.2.6. Impulspressen	142
5.3. Formgebung ohne Druckanwendung	144
5.3.1. Schütten in Formen	145
5.3.2. Vibrationsverdichten	145
5.3.3. Schlickergießen	146
<i>Literaturhinweise</i>	148

6. Sintern der Pulverkörper	150
6.1. Grundlegende Vorgänge beim Sintern	150
6.1.1. Festphasensintern von homogenen Pulvern	151
6.1.1.1. Kontaktbildung und -wachstum	151
6.1.1.1.1. Mögliche Materialtransportmechanismen	151
6.1.1.1.2. Bildung von Versetzungen im Kontaktbereich	155
6.1.1.2. Schwindung in Schüttungen	159
6.1.1.2.1. Teilchenbewegung in Kugelreihen	160
6.1.1.2.2. Teilchenbewegung in Schüttungen	163
6.1.1.3. Schwindung von Preßkörpern	166
6.1.1.3.1. Korngrenzen-Leerstellsenken	167
6.1.1.3.2. Versetzungen-Leerstellsenken	168
6.1.1.3.3. Teilchenbewegung in Preßlingen	170
6.1.1.4. Spätstadium des Sinterns	173
6.1.2. Festphasensintern von heterogenen Pulvern	174
6.1.2.1. Unlöslichkeit der Pulverbestandteile	175
6.1.2.2. Löslichkeit der Pulverbestandteile	176
6.1.3. Temporäres Flüssigphasensintern	182
6.1.4. Permanentes Flüssigphasensintern	188
6.1.4.1. Teilchenumordnung	189
6.1.4.2. Teilchendesintegration	191
6.1.4.3. Materialumfällung	194
6.1.4.4. Vergrößerung der festen Phase	197
6.2. Technische Anlagen und Verfahren	199
6.2.1. Schutzatmosphären	199
6.2.1.1. Reine Gase	202
6.2.1.2. Ammoniak-Spaltgas	203
6.2.1.3. Über Verbrennung von Kohlenwasserstoffen hergestellte Schutzgase	204
6.2.1.4. Reinigung von Schutzgasen	206
6.2.1.5. Vakuum	207
6.2.2. Beheizung elektrischer Öfen	207
6.2.2.1. Heizleiter auf Nickel-Chrom-Basis	208
6.2.2.2. Heizleiter auf Eisen-Chrom-Aluminium-Basis	209
6.2.2.3. Siliziumkarbid-Heizelemente	209
6.2.2.4. Molybdändisilizid-Heizleiter	209
6.2.2.5. Molybdän- und Wolfram-Heizleiter	209
6.2.2.6. Graphit-Heizleiter	210
6.2.2.7. Induktive Beheizung	210
6.2.3. Sinteröfen	211
6.2.3.1. Kontinuierlich arbeitende Sinteröfen	212
6.2.3.2. Periodisch arbeitende Sinteröfen	217
6.2.4. Tränken	221
<i>Literaturhinweise</i>	223
7. Prüfen von Sinterwerkstoffen	227
7.1. Dichte, Porosität und Schwindung	229

7.2. Festigkeit, Elastizitätsmodul und Härte	233
7.3. Bruchzähigkeit und -sicherheit	239
7.4. Gefügeuntersuchung von Sinterwerkstoffen	246
7.4.1. Herstellung der Schlifffläche	247
7.4.2. Entwicklung des Gefüges	248
7.4.3. Quantitative Gefügeanalyse	249
<i>Literaturhinweise</i>	255
8. Gesinterte Massenformteile	257
8.1. Technologische Grundoperationen zur Herstellung von Sinterformteilen	260
8.2. Nachbehandlung von Sinterformteilen	267
8.3. Sinterformteile auf Eisenbasis mit geringer bis mittlerer Festigkeit	273
8.4. Sinterformteile auf Eisenbasis mit hoher und höchster Festigkeit	278
8.5. Sinterformteile aus korrosionsbeständigen Stählen	284
8.6. Sinterformteile aus Nichteisenmetallen	286
8.6.1. Kupferbasis-Sinterformteile	287
8.6.2. Aluminiumbasis-Sinterformteile	290
8.6.3. Titanbasis-Sinterformteile	293
<i>Literaturhinweise</i>	294
9. Hochdichte und hochlegierte Sinterwerkstoffe	296
9.1. Herstellung und Eigenschaften geschmiedeter Sinterstähle	297
9.2. Gesinterte Schnellarbeitsstähle und hartstoffangereicherte Eisenbasislegierungen	307
9.3. Pulvermetallurgisch hergestellte Superlegierungen	312
<i>Literaturhinweise</i>	318
10. Gleitwerkstoffe und Sinterlager	320
10.1. Ölgetränkte Sinterwerkstoffe	320
10.2. Poröse Sinterwerkstoffe für Gasschmierung	329
10.3. Metall-Festschmierstoff-Verbundwerkstoffe	329
10.4. Kohle- und Graphitwerkstoffe	334
10.5. Metall-Polytetrafluorethylen-Verbundwerkstoffe	336
10.6. Gleitwerkstoffe auf Stützschaalen	337
10.6.1. Metallische Gleitwerkstoffe	337
10.6.2. Metall-Hochpolymer-Verbundgleitwerkstoffe	338
10.7. Sintergleitwerkstoffe für hohe Beanspruchungen	340
10.8. Gesinterte Kolbenringe	342
<i>Literaturhinweise</i>	343
11. Reibwerkstoffe	345
11.1. Prüfung von Reibwerkstoffen	346
11.2. Grundlegendes zum Aufbau von gesinterten Reibwerkstoffen	349
11.3. Herstellung gesinterner Reibwerkstoffe	351

11.4. Reibwerkstoffe auf Kupferbasis für Trockenlauf	352
11.5. Reibwerkstoffe auf Kupferbasis für Öllauf	354
11.6. Reibwerkstoffe auf Eisenbasis	357
11.7. Reibwerkstoffe mit metallischer Bindung und hohem nichtmetallischem Anteil	362
<i>Literaturhinweise</i>	363
12. Hochporöse Teile und Filter	365
12.1. Filter	365
12.1.1. Filter aus kugligen Pulvern	371
12.1.2. Filter aus unregelmäßig geformten Pulvern	374
12.1.3. Filter aus Metallfasern	376
12.2. Hochporöse Werkstoffe für Sonderzwecke	378
<i>Literaturhinweise</i>	380
13. Teilchenverfestigte Sinterlegierungen	382
13.1. Wirkung der Teilchen	382
13.2. Dispersionsverfestigte Sinterwerkstoffe	389
13.2.1. Dispersionsverfestigte Aluminiumwerkstoffe	389
13.2.2. Dispersionsverfestigtes Blei	393
13.2.3. Dispersionsverfestigte Nickellegierungen	393
13.2.4. Werkstoffe auf Kupfer- und Edelmetallbasis	395
13.2.5. Anwendung dispersionsverfestigter Sinterwerkstoffe	397
13.3. Aushärtbare Sinterlegierungen	397
<i>Literaturhinweise</i>	400
14. Kontaktwerkstoffe	401
14.1. Elektrotechnische Vorgänge und Anforderungen	402
14.1.1. Vorgänge bei Starkstromkontakten	403
14.1.2. Vorgänge bei Schwachstromkontakten	404
14.2. Technische Sinterkontaktwerkstoffe	404
14.2.1. Werkstoffe auf Basis hochschmelzender Metalle	406
14.2.1.1. Werkstoffherstellung	406
14.2.1.2. Wichtige Werkstoffe	412
14.2.2. Dispersionsgehärtete Silberbasiswerkstoffe	414
14.2.2.1. Werkstoffherstellung	415
14.2.2.2. Wichtige Silber-Dispersionswerkstoffe	416
14.2.3. Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe	426
14.2.3.1. Silber-Graphit-Verbundwerkstoffe	427
14.2.3.2. Kupfer-Graphit-Verbundwerkstoffe	428
14.3. Entwicklungsgesichtspunkte und -tendenzen	429
<i>Literaturhinweise</i>	430

15. Hochschmelzende Metalle und Legierungen	432
15.1. Herstellung von Halbzeugen und Formteilen	433
15.1.1. Sintern von Wolfram, Molybdän und Tantal	434
15.1.2. Weiterverarbeitung der Sinterteile	436
15.2. Anwendung von Wolfram-, Molybdän- und Tantal-Werkstoffen	443
15.2.1. Hochwarmfeste Bauteile	443
15.2.2. Korrosiver Beanspruchung ausgesetzte Teile	448
15.2.3. Bauelemente der Elektrotechnik und Elektronik	448
15.3. Schwermetalle	453
<i>Literaturhinweise</i>	455
16. Pulver- und Sintermagnete	457
16.1. Massekerne	458
16.2. Sinterisenmagnete	460
16.3. AlNiCo-Sintermagnete	462
16.3.1. Herstellung der AlNiCo-Sinterteile	463
16.3.2. Wärmebehandlung, Gefüge und Eigenschaften	464
16.4. Hartmagnete aus intermetallischen Phasen von Seltenerdmetallen und Übergangsmetallen	467
16.5. Ferritmagnete	474
16.5.1. Herstellung der Ferritmagnete	475
16.5.2. Eigenschaften und Anwendung von weichmagnetischen Ferriten	477
16.5.3. Eigenschaften und Anwendung von hartmagnetischen Ferriten	481
<i>Literaturhinweise</i>	483
17. Hartstoffe und Hartstoffverbunde	484
17.1. Übersicht und Charakterisierung der Hartstoffe	484
17.1.1. Metallische Hartstoffe	486
17.1.2. Nichtmetallische Hartstoffe	487
17.2. Hartmetalle	490
17.2.1. Bildung des Hartmetallgefüges	490
17.2.2. Mechanische Eigenschaften von Hartmetallen	493
17.2.3. Herstellung von Hartmetallen	496
17.2.4. Anwendung unbeschichteter Hartmetalle	497
17.2.5. Beschichtung von Hartmetall	502
17.2.6. Hartmetalle mit verändertem Bindemetall oder Härte Träger	505
17.3. Sonderkeramik	507
17.3.1. Oxidkeramik	508
17.3.1.1. Sinterkorund	508
17.3.1.2. Sintermagnesiumoxid	511
17.3.1.3. Sinterzirkoniumdioxid	512

17.3.1.4. Sinterberylliumoxid	512
17.3.2. Oxid-Karbid-Keramik	513
17.3.3. Karbid- und Nitridkeramik	514
17.3.3.1. Siliziumkarbid-Keramik	514
17.3.3.2. Siliziumnitrid-Keramik	516
17.4. Schneidwerkzeuge aus superharten Stoffen	520
17.5. Schleifkörper	521
17.5.1. Schleifmittelkörnungen	522
17.5.2. Schleifmittelbindungen	522
17.5.3. Charakterisierung der Schleifkörper	523
17.5.4. Schleifkörper zum Trennen	525
17.5.5. Schleifkörper mit Diamant und kubischem Bornitrid	526
17.6. Cermets	527
17.6.1. Einflußnahme von Eigenschaften der Komponenten	528
17.6.2. Anwendung und Entwicklungsaussichten	529
<i>Literaturhinweise</i>	530
18. Sinterwerkstoffe in der Kerntechnik	533
18.1. Brenn- und Brutstoffe	534
18.1.1. Brennstoffe für Druckwasserreaktoren	534
18.1.1.1. Herstellung von DWR-Brennstoff	534
18.1.1.2. UO ₂ -Pulvereigenschaften und Pelletherstellung	536
18.1.1.3. Einsatzspezifische Eigenschaften der UO ₂ -Pellets	538
18.1.2. Brenn- und Brutstoffe für den schnellen Reaktor	543
18.1.2.1. Brennstoffherstellung	544
18.1.2.2. Einsatzspezifische Eigenschaften von (U,Pu)O ₂ -Brennstoffen	546
18.1.3. Brenn- und Brutstoffe des gasgekühlten Hochtemperaturreaktors	547
18.2. Moderator- und Reflektorwerkstoffe	549
18.2.1. Graphit	551
18.2.2. Berylliumoxid	552
18.3. Absorberwerkstoffe	553
18.3.1. Absorber auf Borbasis	554
18.3.2. Seltene Erden	556
18.4. Weitere Keramiken für Kernreaktoren	557
<i>Literaturhinweise</i>	558
Sachwörterverzeichnis	560
Tafelteil	569