

Inhalt

1	Aufbau, Eigenschaften und Herstellung der Werkstoffe der Konstruktionskeramik	1
1.1	Einleitung und Definition	1
1.2	Eigenschaften der Konstruktionskeramik bei Raumtemperatur	4
1.3	Temperaturverhalten	14
1.4	Werkstoffherstellung	18
1.4.1	Technologische Stadien keramischer Werkstoffe	18
1.4.1.1	Pulverherstellung und -aufbereitung	18
1.4.1.2	Formgebung	19
1.4.1.3	Sintern	21
1.4.2	Spezielle Werkstoffe	23
1.4.2.1	Aluminiumoxid	23
1.4.2.2	Zirkondioxid	24
1.4.2.3	Siliziumnitrid	25
1.4.2.4	Siliziumkarbid	30
1.5	Entwicklungstendenzen	33
1.6	Kurzzeichenverzeichnis zu Kapitel 1	38
2	Bewertung der Bauteile hinsichtlich Festigkeit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit	39
2.1	Einleitung	39
2.2	Bewertung keramischer Bauteile	39
2.3	Theoretische Grundlagen	40
2.3.1	Bruchkriterien	41
2.3.1.1	Linear elastisches Werkstoffverhalten	41
2.3.1.2	Nichtlineares Werkstoffverhalten	43
2.3.2	Rißwachstumsgleichungen	43
2.3.2.1	Rißwachstum bei quasistatischer Schädigung	43
2.3.2.2	Rißwachstum bei zyklischer Schädigung	47
2.3.3	Bruchstatistik	48
2.3.4	SPT-Diagramme	51
2.3.5	Proof-Test-Konzept	53
2.4	Nachweis von Kurzzeitfestigkeit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit	54
2.4.1	Vorbemerkungen	54
2.4.2	Kurzzeitfestigkeitsnachweis	55

2.4.3	Lebensdauernachweis	55
2.4.4	Zuverlässigkeitsnachweis	56
2.4.5	Komplexer Nachweis / SPT-Diagramm	56
2.4.6	Sonstige Nachweise	57
2.5	Beispiel	57
2.5.1	Aufgabenstellung	57
2.5.2	Beanspruchungsanalyse	58
2.5.3	Kurzzeitfestigkeitsnachweis	59
2.5.4	Lebensdauerberechnung	60
2.5.5	Proof-Test-Belastung	60
2.5.6	Zuverlässigkeit / Bruchwahrscheinlichkeit	60
2.5.7	Diskussion	60
2.6	Zusammenfassung	61
2.7	Kurzzeichenverzeichnis zu Kapitel 2	61

3 Konstruktion mit keramischen Werkstoffen 63

3.0	Problemstellung	63
3.1	Konstruktionsrelevante Eigenschaften keramischer Werkstoffe und sich ergebende Konstruktionsprobleme	63
3.2	Grundlagen der keramikgerechten Konstruktion	71
3.2.1	Einflußgrößen und Vorgehensweise	71
3.2.2	Grundregeln und Konstruktionsempfehlungen	75
3.3	Konstruktive Gestaltung keramischer Bauteile	78
3.3.1	Einfache Formen anstreben	79
3.3.2	Spannungsspitzen vermeiden	81
3.3.3	Zugspannungen minimieren	84
3.3.4	Materialanhäufungen vermeiden	86
3.3.5	Nachbearbeitung minimieren	87
3.3.6	Fertigungsspezifische Besonderheiten berücksichtigen	91
3.4	Grundregeln zur konstruktiven Gestaltung lösbarer Verbindungen mit keramischen Bauteilen	102
3.4.1	Bedeutung lösbarer Verbindungen	102
3.4.2	Gestaltung lösbarer keramischer Verbindungen	102
3.5	Schraubenverbindungen mit keramischen Bauteilen	113
3.5.1	Bedeutung und Verbindungsvarianten	113
3.5.2	Innengewinde in keramischen Bauteilen	114
3.5.3	Gestaltung von Schraubenverbindungen	116
3.5.4	Berechnung und Auslegung	123
3.5.5	Sicherungsmaßnahmen	128

3.6	Welle-Nabe-Verbindungen mit keramischen Bauteilen	131
3.6.1	Bedeutung und Verbindungsvarianten	131
3.6.2	Gestaltung	133
3.6.3	Zur Berechnung	138
3.7	Anwendungsbeispiele	139
3.7.1	Technische Einsatzbereiche der Hochleistungskeramik .	139
3.7.2	Beispiel Zündkerze	143
3.7.3	Beispiel Chemiepumpe	144
3.7.4	Beispiel Wälzlager	149
3.7.5	Beispiel Drosselventil	151
3.7.6	Beispiel Strahldüse	152
3.8	Kurzzeichenverzeichnis zu Kapitel 3	153

4 Bearbeitung keramischer Werkstoffe 156

4.1	Fertigungsprozesse und Bearbeitung keramischer Bauteile	156
4.1.1	Grundlagen	156
4.1.2	Fertigungsvarianten für unterschiedliche Werkstoffe . .	164
4.1.3	Erfordernisse und Besonderheiten der spanenden Bearbeitung von technischer Keramik	168
4.2	Grün- und Weißbearbeitung	170
4.3	Hartbearbeitung	177
4.3.1	Einstufiger Schleifprozeß	178
4.3.2	Mehrstufiger Schleifprozeß	190
4.3.2.1	Allgemeines	190
4.3.2.2	Möglichkeiten und Grenzen der Rauheitsbeeinflussung beim mehrstufigen Schleifprozeß	191
4.3.2.3	Gestaltungshinweise für Schleifprozesse	193
4.4	Kurzzeichenverzeichnis zu Kapitel 4	195

5 Verbindungstechnik von Konstruktionskeramik 197

5.1	Allgemeine Übersicht über die Verbundverfahren bei Konstruktionskeramik	197
5.1.1	Kraft- und formschlüssige Verbindungen	198
5.1.2	Stoffschlüssige Verbindungen — Verbunde über physikalisch-chemische Bindung	205
5.2	Charakterisierung stoffschlüssiger Verbundverfahren	207
5.2.1	Diffusionsschweißen	207
5.2.2	Reaktionsverbunde	209

5.2.2.1	Druckloses Fügen mit Zwischenschichten	209
5.2.2.2	Heißpressen	210
5.2.3	Lötverfahren	212
5.2.3.1	Zweistufiges Löten	212
5.2.3.2	Einstufiges Löten	215
5.3	Kurzzeichenverzeichnis zu Kapitel 5	220
6	Keramische Schichten	221
6.1	Plasmaspritzen, Herstellen und Einsatz	221
6.1.1	Verfahren des Plasmaspritzens	221
6.1.1.1	Atmosphärisches Plasmaspritzen	221
6.1.1.2	Vakuumplasmaspritzen	222
6.1.1.3	Hochgeschwindigkeitsplasmaspritzen	224
6.1.1.4	Flüssigkeitsstabilisiertes Plasmaspritzen	224
6.1.2	Plasmaspritzanlagen	225
6.1.2.1	Stationäre Anlagen	226
6.1.2.2	Fahrbare Anlagen	229
6.1.3	Spritzwerkstoffe	229
6.1.3.1	Schwerschmelzbare Metalle	233
6.1.3.2	Metallegierungen	234
6.1.3.3	Intermetallische und nichtmetallische Werkstoffe	235
6.1.3.4	Oxide	235
6.1.3.5	Nichtoxidische Werkstoffe	238
6.1.3.6	Metall-Keramik-Komplexe (Cermets)	238
6.1.4	Plasma- und Trägergase	239
6.1.5	Herstellung der Schichten	244
6.1.5.1	Haftgrundvorbereitung	245
6.1.5.2	Vorbereitung der Werkstücke zur Beschichtung	246
6.1.5.3	Beschichtung	247
6.1.5.4	Nachbehandlung von Spritzschichten	256
6.1.6	Einsatz der Schichten	257
6.1.7	Sicherheitsbestimmungen für die Errichtung und das Betreiben einer Plasmaspritzanlage	263
6.2	Keramische dünne Schichten, Herstellung und Eigenschaften	265
6.2.1	Verfahren der Hartstoffbeschichtung aus der Gasphase	265
6.2.1.1	Chemische Gasabscheidung (CVD)	266
6.2.1.2	Physikalische Gasabscheidung (PVD)	269
6.2.2	Struktur und Eigenschaften von Hartstoffschichten	276
6.2.2.1	Strukturzonenmodelle	276

6.2.2.2	Schichtspannungen, Mikrohärte, Haftfestigkeit	279
6.2.3	Einsatz von Hartstoffschichten zum Verschleißschutz . .	287
6.2.3.1	Grundformen des Verschleißes	287
6.2.3.2	Verschleißprüfung von Hartstoffsyste men	288
6.3	Kurzzeichenverzeichnis zu Kapitel 6	291
7	Prüfung der Konstruktionskeramik	293
7.1	Mechanische Prüfung	293
7.1.1	Ermittlung der Festigkeit	293
7.1.2	Härtemessung	296
7.1.2.1	Definition	296
7.1.2.2	Erzeugung von Indentereindrücken	296
7.1.2.3	Verschiedene Methoden der Härtemessung	297
7.1.3	Ermittlung der Bruchzähigkeit	302
7.1.3.1	Definition	302
7.1.3.2	Gekerbte Biegeproben	303
7.1.3.3	Bruchmechanische Bewertung der Risse an Indentereindrücken	304
7.1.3.4	Verschiedene Methoden zur Ermittlung der Bruchzähigkeit	306
7.1.4	Indentermethoden	309
7.2	Zerstörungsfreie Prüfung	315
7.2.1	Problemstellung	315
7.2.2	Penetrationsprüfung	316
7.2.3	Röntgenprüfung	317
7.2.4	Ultraschallprüfung	319
7.2.5	Schallemissionsanalyse	330
7.3	Kurzzeichenverzeichnis zu Kapitel 7	333
8	Tribologisches Verhalten von Konstruktionskeramik	335
8.1	Einführung	335
8.2	Einflußgrößen auf das Reibungs- und Verschleißverhalten keramischer Werkstoffe	336
8.2.1	Abrasiver Verschleiß	336
8.2.2	Werkstoffkenngrößen	336
8.2.3	Thermischer Verschleiß	337
8.2.4	Verschleißpartikeladhäsion	337

8.2.5	Einfluß der Luftfeuchte, der Schmierung und der Temperatur	338
8.3	Untersuchungsergebnisse zum tribologischen Verhalten von Konstruktionskeramik	339
8.4	Kurzzeichenverzeichnis zu Kapitel 8	342
9	Literaturverzeichnis	343
10	Autorenkollektiv	364
11	Sachwortverzeichnis	365