

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort *XI*

Beitragsautoren *XIII*

<b>1</b>	<b>Bruchmechanisches Verhalten unter quasistatischer und dynamischer Beanspruchung</b>	<b>1</b>
	<i>L. Krüger, P. Trubitz und S. Henschel</i>	
1.1	Einleitung	1
1.2	Grundlagen	6
1.2.1	Konzept der linear-elastischen Bruchmechanik	7
1.2.2	Konzepte der Fließbruchmechanik	12
1.2.3	Bruchzähigkeitsverhalten im spröd-duktilen Übergangsbereich – das Master-Curve-Konzept	14
1.2.4	Bruchmechanisches Verhalten unter hohen Beanspruchungsraten	16
1.3	Experimentelle Bestimmung bruchmechanischer Kennwerte	18
1.3.1	Probenformen, Probenvorbereitung	18
1.3.2	Quasistatische Beanspruchung	20
1.3.3	Dynamische Beanspruchung	29
	Literatur	49
<b>2</b>	<b>Kennwertermittlung bei zyklischem Langrisswachstum</b>	<b>53</b>
	<i>S. Henkel und H. Biermann</i>	
2.1	Einführung	53
2.2	Grundlagen	54
2.3	Probenformen	58
2.3.1	Kompaktzugprobe (CT-Probe)	58
2.3.2	Einseitig gekerbte Biegeprobe (SENB-Probe)	59
2.3.3	Plattenförmige Proben (CCT-Probe, SENT-Probe, ESET-Probe)	59
2.4	Versuchsführung	61
2.5	Risslängenbestimmung	64
2.5.1	Optische Methoden	64
2.5.2	Elastische Compliance-Messung	66
2.5.3	Elektropotenzialmethode	67

2.5.4	Markerload-Technik	68
2.6	Versuchsauswertung	69
2.6.1	Ermittlung des Schwellenwertes	69
2.6.2	Glättung der Messwerte	70
2.6.3	Parameter der Paris-Erdogan-Gleichung	70
2.6.4	Anpassung von kontinuierlichen Funktionen	72
2.6.5	Statistik	76
2.7	Zusammenfassung und Ausblick	78
	Literatur	79
<b>3</b>	<b>Ermüdung bei sehr hohen Lastspielzahlen (VHCF)</b>	<b>83</b>
	<i>A. Weidner, D. Krewerth und H. Biermann</i>	
3.1	Einführung	83
3.2	Werkstoffverhalten im VHCF-Bereich	84
3.2.1	Typ I-Werkstoffe	85
3.2.2	Typ II-Werkstoffe	87
3.3	Gerätetechnik und Analyseverfahren	91
3.3.1	Ultraschallprüftechnik	91
3.3.2	Frequenzanalyse	95
3.3.3	Nichtlinearitätsparameter	96
3.3.4	Thermografie	98
3.3.5	Fraktografie	99
3.4	Aktuelle Forschungsergebnisse	101
3.4.1	Aluminiumguss – AlSi7Mg	101
3.4.2	Stahlguss – G-42CrMo4	107
3.4.3	Austenitischer Stahlguss G-X5CrNiMoNb19.11.2	111
3.4.4	Gusseisen mit Kugelgraphit und Graphitentartungen	113
3.5	Zusammenfassung und Ausblick	115
	Literatur	115
<b>4</b>	<b>Mehrachsiges Werkstoffverhalten</b>	<b>121</b>
	<i>S. Henkel, D. Kulawinski, S. Ackermann und H. Biermann</i>	
4.1	Einleitung	121
4.2	Planar-biaxiale Prüfung	122
4.3	Konzepte für die Gestaltung von kreuzförmigen Proben	126
4.3.1	Probengeometrie	126
4.3.2	Ermittlung des tragenden Querschnittes und der Spannungen bei planar-biaxialer Prüfung	130
4.4	Beispiele für die Bestimmung des mehrachsigen mechanischen Verhaltens	132
4.4.1	Ermittlung statischer Fließkurven an Kreuzproben	132
4.4.2	Zyklische LCF-Beanspruchung bei Raumtemperatur	136
4.4.3	Zyklische Hochtemperaturermüdung	139
4.4.4	Rissbahnkurven unter zyklischer Beanspruchung	142
4.4.5	Ausblick	148
	Literatur	150

<b>5</b>	<b>Thermomechanische Ermüdung</b>	<b>159</b>
	<i>R. Kolmorgen und H. Biermann</i>	
5.1	Einleitung	159
5.2	Experimentelle Vorgehensweise	162
5.2.1	Versuchsführung	162
5.2.2	Zyklusformen	164
5.2.3	Probenformen	165
5.2.4	Auswertung	167
5.3	Lebensdauervorhersage	168
5.3.1	Empirische Schadensparameter	168
5.3.2	Bruchmechanische Vorgehensweise	170
5.4	Eigene Untersuchungen	170
5.4.1	Prüfaufbau	171
5.4.2	Kesselstahl 16Mo3	172
5.4.3	Duplexstahl 1.4462	173
5.4.4	Lebensdauervorhersage am Beispiel des Duplexstahles 1.4462	174
	Literatur	177
<b>6</b>	<b>Dynamische Werkstoffprüfung</b>	<b>181</b>
	<i>D. Ehinger und L. Krüger</i>	
6.1	Einleitung	181
6.2	Experimentelle Methoden	183
6.2.1	Servohydraulische Prüfmaschinen	183
6.2.2	Fallwerksaufbauten	184
6.2.3	Pendelschlagwerke	185
6.2.4	Rotationsschlagwerke	186
6.2.5	Hopkinsonaufbauten	187
6.3	Messkette und Messtechnik	191
6.4	Werkstoffverhalten als Funktion von Temperatur und Dehnrate	192
6.5	Modellgesetze	194
6.6	Werkstoffbeispiele	199
6.6.1	Experimentelle Ergebnisse	199
6.6.2	Anwendung von empirischen und metallphysikalisch basierten Modellgesetzen	205
	Literatur	209
<b>7</b>	<b>Moderne Methoden der Rasterelektronenmikroskopie</b>	<b>217</b>
	<i>A. Weidner und H. Biermann</i>	
7.1	Einleitung	217
7.2	Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie	218
7.3	Wechselwirkung Elektronenstrahl-Materie	219
7.4	Kontrastarten	222
7.4.1	Sekundärelektronenkontrast (SE)	222
7.4.2	Rückstreuelektronenkontrast (BSE)	223
7.4.3	Der Electron Channelling-Kontrast zur Abbildung von Gitterdefekten	227

- 7.4.4 Transmissionselektronenkontrast (t-SEM) 231
- 7.5 Analytische Verfahren der Rasterelektronenmikroskopie 232
- 7.5.1 Energiedispersive Röntgenspektroskopie 232
- 7.5.2 Rückstreuелеktronenbeugung (EBSD) 233
- 7.5.3 Kombinierte Anwendung von Rückstreuелеktronenbeugung und energiedispersiver Röntgenspektroskopie 236
- 7.6 Möglichkeiten zur in situ-Charakterisierung im Rasterelektronenmikroskop 237
- 7.7 Anwendungsbeispiele kombinierter abbildender und analytischer Verfahren der Rasterelektronenmikroskopie 240
- 7.7.1 Abbildung von Versetzungsanordnungen nach zyklischer Beanspruchung 240
- 7.7.2 Abbildung einzelner Gitterdefekte 243
- 7.7.3 Kombination von ECCI mit in situ-Verformung – interrupted monitoring 247
- 7.8 Zusammenfassung und Ausblick 250
- Literatur 251
  
- 8 Röntgendiffraktometrie 255**  
*D. Rafaja*
- 8.1 Wechselwirkung der Röntgenstrahlen mit der Materie 256
- 8.1.1 Elastische Streuung der Röntgenstrahlen an Elektronen 256
- 8.1.2 Interferenz der elastisch gestreuten Röntgenstrahlen 259
- 8.2 Röntgenbeugung an defektfreien kristallinen Materialien 262
- 8.2.1 Der Strukturfaktor 262
- 8.2.2 Die Laue-Bedingungen und die Bragg-Gleichung 263
- 8.2.3 Effekt der Kristallgröße 265
- 8.2.4 Röntgenbeugung an mehreren Kristalliten 268
- 8.3 Einfluss der Mikrostrukturdefekte auf das Röntgendiffraktogramm 280
- 8.3.1 Punktdefekte 280
- 8.3.2 Mikrodehnung 283
- 8.3.3 Versetzungen 285
- 8.3.4 Planare Defekte 287
- 8.3.5 Turbostratische Kristallstrukturdefekte 291
- 8.3.6 Instrumentelle Verbreiterung der Beugungslinien 293
- Literatur 296
  
- 9 Nanoindentierungsprüfung 299**  
*M. Göken*
- 9.1 Einleitung 299
- 9.2 Von der klassischen Härteprüfung zur Nanoindentierungsprüfung 301
- 9.2.1 Grenzen der klassischen Härteprüfung 301
- 9.2.2 Tiefenregistrierende Härteprüfung – Nanoindentierung 304
- 9.2.3 Gerätetechnik, Indenterformen 305
- 9.3 Kontaktmechanik 308

9.3.1	Kontaktmechanik (Vom Hertz'schen Kontakt zu Sneddon's Kontaktmodell)	308
9.3.2	Die Oliver-Pharr-Methode	311
9.3.3	Bestimmung der Fließspannung – Der Constraint-Faktor	316
9.4	Nanoindentierungen bei kleinen Lasten – Phänomene und Anwendungen	317
9.4.1	Anisotropie und Pile-up	317
9.4.2	Diskontinuitäten in den Kraft-Eindringkurven – Das Pop-in-Verhalten	323
9.4.3	Einfluss von Eigenspannungen	329
9.4.4	Größeneffekte – Der <i>Indentation-Size-Effect</i>	332
9.4.5	Anwendungsbeispiele (Biomaterialien, Superlegierungen, Korngrenzen)	336
9.5	Neuere Nanoindentierungsmethoden jenseits von Härte und Elastizitätsmodul	340
9.5.1	Dehnratenempfindlichkeit	340
9.5.2	Hochtemperaturmessungen	342
9.5.3	Indentierungskriechen	343
	Literatur	347
<b>10</b>	<b>Röntgen-Tomografie</b>	<b>353</b>
	<i>H. Berek, J. Hubáľková und C.G. Aneziris</i>	
10.1	Übersicht	353
10.2	Grundlagen der Röntgen-Tomografie	357
10.2.1	Prinzip	357
10.2.2	Kontrastentstehung und Abbildungsfehler	360
10.3	In-situ-Untersuchungstechniken	362
10.4	Quantitative Gefügeanalyse	364
10.5	Anwendungsbeispiele	366
10.5.1	Labor-Röntgen-Tomograf	366
10.5.2	In-situ-Druckverformungseinrichtung	367
10.5.3	In-situ-Verformung von MMC-Schäumen	367
10.5.4	In-situ-Verformung von MMC-Wabenkörpern	372
10.5.5	Schaumkeramik-Filter für die Metallschmelzefiltration	374
10.5.6	Tauchgussdüsen	377
10.5.7	Salzbohrkerne	378
10.5.8	Schaumglas	379
10.6	Ausblick	381
	Literatur	382
<b>11</b>	<b>Elektrochemische Korrosion</b>	<b>387</b>
	<i>M. Mandel und L. Krüger</i>	
11.1	Einleitung	387
11.2	Korrosionsarten	388
11.3	Einflussfaktoren	388

11.4	Elektrochemische Grundlagen	390
11.5	Ausgewählte Korrosionsprüfverfahren	391
11.5.1	Potenziodynamische Polarisierung	393
11.5.2	Elektrochemische Impedanz-Spektroskopie	398
11.5.3	Potenziodynamische Polarisierung – Bimetallkorrosion	402
11.5.4	Dauertauchversuch	405
11.5.5	Korrosionsprüfung unter wechselnden klimatischen Bedingungen	406
	Literatur	412
<b>12</b>	<b>Verschleiß</b>	<b>415</b>
	<i>R. Franke</i>	
12.1	Werkstoffwissenschaftliche Grundlagen	415
12.1.1	Einführung	415
12.1.2	Der Systemcharakter tribologischer Vorgänge	416
12.1.3	Elemente und Wirkfaktoren eines tribologischen Systems	417
12.1.4	Grundlagen der Reibung	420
12.1.5	Grundlagen des Verschleißes	423
12.2	Werkstoffe	428
12.2.1	Auswahlkriterien	428
12.3	Randschichten	430
12.3.1	Auswahlkriterien	430
12.3.2	Oberflächenbeschichtungen	431
12.3.3	Randschichtumwandlungen	433
12.4	Tribologische Prüfverfahren	434
12.5	Messgrößen für tribologische Systeme	436
12.5.1	Messgrößen für die Kontaktbedingungen	436
12.5.2	Messgrößen für die Reibung	437
12.5.3	Messgrößen für den Verschleiß	438
12.6	Anwendungsbeispiel	439
	Literatur	444
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>447</b>