

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort ..... V

Die Autoren ..... XVII

## Teil I: Schadenskunde ..... 1

1. Allgemeine Betrachtung ..... 5

1.1 Begriff der Schadenskunde ..... 6

1.2 Lebensdauer ..... 11

1.3 Sicherheitsbeiwerte ..... 12

1.3.1 Streuung der Werkstoffeigenschaften (vgl. Kapitel 4) ..... 15

1.3.2 Schwankung der Betriebslast ..... 17

1.4 Ermittlung der Lebensdauer ..... 18

1.4.1 Statistiken ..... 18

1.4.2 Experimentelle Lebensdauerermittlung ..... 19

1.4.2.1 Darstellung der Ergebnisse ..... 19

1.4.2.2 Untersuchungen an Laborproben ..... 21

1.4.2.3 Untersuchungen auf dem Prüfstand ..... 22

1.5 Literatur Kapitel 1 ..... 26

Ergänzende Literatur ..... 27

2. Untersuchungsmethoden ..... 29

2.1 Allgemeine Betrachtungen ..... 29

2.2 Mechanische Prüfverfahren ..... 30

2.2.1 Zügige Beanspruchung ..... 30

2.2.2 Einstufen-Dauerschwingversuche ..... 31

2.2.2.1 Schadenslinie ..... 32

2.2.2.2 Überlebenswahrscheinlichkeit ..... 34

2.2.2.3 Bruchverhältnis ..... 35

2.2.2.4 Treppenstufenverfahren ..... 36

2.2.3	Schadensakkumulationshypothesen .....	36
2.2.3.1	<i>Palmgren-Miner-Hypothese</i> .....	38
2.2.3.2	<i>Modifikation der Palmgren-Miner-Hypothese</i> .....	39
2.2.4	Betriebs-Schwingversuche .....	40
2.2.4.1	<i>Allgemeine Betrachtung</i> .....	40
2.2.4.2	<i>Beanspruchungs-Zeit-Funktion</i> .....	43
2.2.4.3	<i>Zählverfahren</i> .....	43
2.2.4.4	<i>Beanspruchungskollektiv</i> .....	45
2.2.4.5	<i>Blockprogramm-Versuch</i> .....	47
2.2.4.6	<i>Random-Versuch</i> .....	49
2.2.4.7	<i>Darstellung der Versuchsergebnisse</i> .....	50
2.2.5	Schlagartige Beanspruchung .....	54
2.2.5.1	<i>Kerbschlagbiegeversuch</i> .....	54
2.2.6	Ruhende Beanspruchung .....	58
2.2.6.1	<i>Zeitstandversuch</i> .....	58
2.2.6.2	<i>Niedriglastwechselemüdung (Low-Cycle-Fatigue)</i> .....	60
2.2.6.3	<i>Restlebensdauer</i> .....	60
<b>2.3</b>	<b>Zerstörungsfreie Prüfverfahren</b> .....	<b>63</b>
2.3.1	Eindringverfahren .....	63
2.3.2	Ultraschallprüfverfahren .....	64
2.3.3	Magnetpulverprüfverfahren .....	66
2.3.4	Röntgenprüfverfahren (Durchstrahlungsprüfung) .....	67
2.3.5	Prüfung mit Gammastrahlen .....	68
<b>2.4</b>	<b>Metallographische Untersuchungsmethoden</b> .....	<b>69</b>
2.4.1	Makroskopische Untersuchungen .....	69
2.4.2	Lichtmikroskop (LM) .....	70
2.4.3	Rasterelektronenmikroskop REM) .....	70
2.4.4	Transmissionselektronenmikroskop (TEM) .....	71
2.4.5	Weitere Verfahren der Elektronenmikroskopie .....	72
<b>2.5</b>	<b>Physikalische Analyseverfahren</b> .....	<b>72</b>
2.5.1	Spektrometrische Analysen .....	72
2.5.1.1	<i>Optische Emissionsspektrometrie</i> .....	72
2.5.1.2	<i>Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie</i> .....	73
2.5.2	Röntgenfeinstruktur-Analyse .....	73
<b>2.6</b>	<b>Kurzzeit-Korrosionsprüfverfahren</b> .....	<b>74</b>
2.6.1	Prüfung von unlegierten und niedriglegierten Stählen auf Beständigkeit gegen interkristalline Spannungsrisskorrosion .....	74
2.6.1.1	<i>Allgemeine Betrachtung</i> .....	74
2.6.1.2	<i>Proben und Probenvorbereitung</i> .....	74
2.6.1.3	<i>Prüfverfahren</i> .....	75

2.6.2	Prüfung nichtrostender Stähle auf Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion.....	75
2.6.2.1	<i>Allgemeine Betrachtung</i> .....	75
2.6.2.2	<i>Proben und Probenvorbereitung</i> .....	75
2.6.2.3	<i>Prüfverfahren</i> .....	75
<b>2.7</b>	<b>Literatur Kapitel 2</b> .....	<b>76</b>
	Ergänzende Literatur.....	79
<b>3.</b>	<b>Entstehung und Aussehen von Brüchen</b> .....	<b>81</b>
<b>3.1</b>	<b>Allgemeine Betrachtung</b> .....	<b>81</b>
<b>3.2</b>	<b>Gewaltbruch</b> .....	<b>82</b>
3.2.1	Spröbruch .....	82
3.2.1.1	<i>Anrissentstehung</i> .....	84
3.2.1.2	<i>Rissausbreitung</i> .....	85
3.2.2	Verformungsbruch.....	85
3.2.2.1	<i>Anrissentstehung</i> .....	85
3.2.2.2	<i>Rissausbreitung</i> .....	86
3.2.3	Mikroskopische Bruchausbildung .....	87
3.2.3.1	<i>Spröbruch</i> .....	87
3.2.3.2	<i>Duktiler Bruch</i> .....	89
3.2.4	Makroskopische Bruchausbildung.....	91
3.2.5	Schadensbeispiele .....	95
<b>3.3</b>	<b>Zeitstandbruch</b> .....	<b>101</b>
3.3.1	Allgemeine Betrachtung .....	101
3.3.2	Kriechvorgänge .....	101
3.3.3	Mikroskopische Bruchausbildung .....	101
<b>3.4</b>	<b>Schwingbruch</b> .....	<b>103</b>
3.4.1	Allgemeine Betrachtung .....	103
3.4.2	Ermüdung .....	103
3.4.2.1	<i>Verfestigung</i> .....	103
3.4.2.2	<i>Entfestigung</i> .....	104
3.4.2.3	<i>Ermüdungsgleitbänder; Extrusionen, Intrusionen</i> .....	106
3.4.2.4	<i>Anrissentstehung</i> .....	107
3.4.2.5	<i>Rissausbreitung</i> .....	109
3.4.2.6	<i>Mikroskopische Bruchausbildung</i> .....	114
3.4.2.7	<i>Makroskopische Bruchausbildung</i> .....	115
3.4.3	Schadensbeispiele .....	116
<b>3.5</b>	<b>Literatur Kapitel 3</b> .....	<b>120</b>
	Ergänzende Literatur.....	121

<b>4.</b>	<b>Systematische Vorgehensweise bei der Untersuchung eines Maschinenschadens</b> .....	123
4.1	Allgemeine Betrachtung.....	123
4.2	Ermittlung der primären Schadensursache.....	123
4.3	Literatur Kapitel 4.....	134
	<b>Teil II: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung von Metallschäden</b> .....	137
<b>1</b>	<b>Aufbau der Metalle</b> .....	139
1.1	Kristallstruktur.....	139
1.2	Phasen und Ausscheidungen .....	140
1.3	Plastische Verformung.....	140
<b>2</b>	<b>Untersuchungsmethoden</b> .....	141
2.1	Rasterelektronenmikroskopie .....	141
2.2	Elektronenstrahlangerregte Röntgenmikroanalyse.....	146
2.2.1	Energiedispersive Röntgenmikroanalyse .....	147
2.2.2	Wellenlängendispersive Röntgenmikroanalyse.....	149
2.2.3	Arbeitsmethoden für beide Röntgenanalysensysteme .....	150
2.3	Spektroskopie energiearmer Elektronen (Auger-Spektroskopie).....	153
<b>3</b>	<b>Schadenmechanismen und ihre Erscheinungsformen</b> .....	155
3.1	Metallurgische Fehler im Inneren des Werkstoffs.....	155
3.2	Brüche .....	164
3.2.1	Mechanische Brüche .....	166

3.2.1.1	Zäher Gewaltbruch.....	166
3.2.1.2	Spröder Gewaltbruch .....	186
3.2.1.3	Schwingbruch .....	199
3.2.2	Brüche unter kombinierter mechanischer und chemischer Beanspruchung .....	222
3.2.2.1	Spannungsrissskorrosion.....	222
3.2.2.2	Schwingungsrissskorrosion .....	232
3.2.2.3	Brüche unter Wasserstoffeinfluss .....	238
3.2.3	Thermische Trennungen.....	250
<b>3.3</b>	<b>Oberflächenschäden .....</b>	<b>253</b>
3.3.1	Mechanische Oberflächenbeschädigungen .....	253
3.3.1.1	Herstellungsbedingte mechanische Oberflächenbeschädigungen .....	253
3.3.1.2	Durch Fremdkörper verursachte Oberflächenbeschädigungen.....	264
3.3.1.3	Verschleiß.....	267
3.3.2	Chemischer Angriff .....	321
3.3.2.1	Angriff durch Festkörper .....	321
3.3.2.2	Angriff durch wässrige Lösungen.....	324
3.3.2.3	Angriff durch Schmelzen.....	351
3.3.2.4	Angriff durch Gase .....	354
3.3.3	Anschmelzen .....	360
<b>3.4</b>	<b>Untersuchung metallografischer Schiffe im Rasterelektronenmikroskop.....</b>	<b>366</b>
<b>3.5</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>371</b>
<b>3.6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>372</b>
<b>Teil III: Fallstudien .....</b>		<b>375</b>
<b>3.1</b>	<b>Schäden durch mechanische Beanspruchungen .....</b>	<b>377</b>
3.1.1	Gewaltbrüche .....	377
3.1.1.1	Schaden an einer Ventilspindel eines Erdgas-Schnellschlussventils einer Gasturbine.....	377
3.1.1.2	Riss der Austrittskante einer Turbinenlaufschaufel der Stufe 1 einer Gasturbine .....	383
3.1.1.3	Anriss der Austrittskante einer Turbinenlaufschaufel der Stufe 1 einer Gasturbine .....	386
3.1.2	Schwingbrüche.....	392
3.1.2.1	Bruch einer Heizöl-Vorlaufleitung eines Gasturbinenbrenners .....	392
3.1.2.2	Bruch einer Turbinenleitschaufel der Stufe 4 einer Gasturbine .....	396
3.1.2.3	Bruch einer Dampfturbinenschaufel.....	401
3.1.2.4	Bruch der Läuferwelle der Hochdruck-Teilturbine einer Schiffsdampfturbine .....	405
3.1.2.5	High-Cycle-Fatigue in der Nickel-Basis Legierung Inconel 792 .....	414
Literaturangaben .....		419

3.1.2.6	<i>Bruchuntersuchung an einem Turbinenlaufrad</i> .....	420
	Literaturangaben .....	426
3.1.2.7	<i>Bruchuntersuchung einer Turbinenlaufscheibe eines Flugzeugtriebwerkes</i> .....	427
3.1.2.8	<i>Schaden an einem Dämpfungsbolzen</i> .....	436
3.1.2.9	<i>Gerissene Kehlnähte an Diagonalgitterschaufeln von Vormischbrennern</i> .....	442
3.1.2.10	<i>Abgerissene Heizölleitung eines Brenners</i> .....	447
<b>3.2</b>	<b>Schäden durch Korrosion in Elektrolyten</b> .....	451
3.2.1	Schwingungsrissskorrosion (SchwRK).....	451
3.2.1.1	<i>Bruch einer Verdichterlaufschaufel der Stufe 9 einer Gasturbine</i> .....	451
3.2.1.2	<i>Bruch einer Verdichterlaufschaufel der Stufe 1 einer Gasturbine</i> .....	457
3.2.1.3	<i>Bruch einer weiteren Verdichterlaufschaufel der Stufe 1 einer Gasturbine</i> .....	463
3.2.1.4	<i>Bruch einer Verdichterleitschaufel der Stufe 0 im Vorleitrad einer Gasturbine</i> .....	472
3.2.1.5	<i>Bruch einer weiteren Verdichterleitschaufel der Stufe 0 im Vorleitrad einer Gasturbine</i> .....	474
3.2.1.6	<i>Wiederholfall: Bruch einer dritten Verdichterleitschaufel der Stufe 0 im Vorleitrad einer Gasturbine</i> .....	480
3.2.1.7	<i>Schaufelschaden in der Niederdruckteilturbine eines Dampfturbosatzes</i> .....	484
3.2.2	Kathodische Spannungsrissskorrosion (SpRK) .....	492
3.2.2.1	<i>Anriss der Passfedernut in einer Radscheibe der Niederdruck-Teilturbine einer Dampfturbine</i> .....	492
3.2.2.2	<i>Wiederholfall: weiterer Anriss der Passfedernut in einer Radscheibe der Niederdruck-Teilturbine einer Dampfturbine</i> .....	506
3.2.2.3	<i>Anriss einer Radscheibe der Niederdruck-Teilturbine einer Dampfturbine</i> .....	519
3.2.2.4	<i>Wiederholfall: Anrisse der Passfedernut in einer Radscheibe der Niederdruck-Teilturbine einer Dampfturbine</i> .....	525
3.2.3	Anodische Spannungsrissskorrosion (SpRK) .....	536
3.2.3.1	<i>Gerissene Stiftschrauben der Mitteldruck-Teilturbine einer Dampfturbine</i> .....	536
3.2.3.2	<i>Spannungskorrosion austenitischer Rohrverschraubungen</i> .....	541
3.2.3.3	<i>Bruchuntersuchung an einem „Rotating Air Seal“ eines Flugzeugtriebwerkes</i> .....	548
	Literatur.....	553
<b>3.3</b>	<b>Schäden durch thermische Beanspruchungen</b> .....	557
3.3.1	Härterisse.....	557
3.3.1.1	<i>Bruch der Ventilspindel einer Dampfturbine</i> .....	557
3.3.1.2	<i>Bruch einer Schraubendruckfeder an einem Dampfturbinenkondensator</i> .....	561
3.3.1.3	<i>Bruch einer Teilfugenschraube einer Dampfturbine</i> .....	564
3.3.2	Heißrisse .....	569
3.3.2.1	<i>Gerissene Turbinenleitschaufeln einer Gasturbine</i> .....	569
3.3.2.2	<i>Heißrisssbildung in der Wärmeeinflusszone lasergebohrter Turbinenschaufeln aus der Nickelbasis-Superlegierung René 80</i> .....	574
3.3.2.3	<i>Heißrisse in der Wurzellage von Brenner-Verteilergehäusen</i> .....	585
3.3.3	Zeitstandrisse (Kriechschäden, Creep damage) .....	590
3.3.3.1	<i>Gerissenes Innengehäuse einer Gasturbine</i> .....	590
3.3.3.2	<i>Gerissene Flansche und Bleche des Innengehäuses einer Gasturbine</i> .....	597

3.3.3.3	<i>Turbinenlaufschaufel der Stufe 3 einer Gasturbine mit Zeitstandschädigung</i> .....	601
3.3.3.4	<i>Turbinenlaufschaufel der Stufe 1 einer Gasturbine mit vermuteter Zeitstandschädigung</i> .....	613
3.3.3.5	<i>Weiterer Fall eines gerissenen Gasturbinen-Innengehäuses</i> .....	616
3.3.3.6	<i>Turbinenlaufschaufel der Stufe 2 einer Gasturbine mit Zeitstandschädigung wegen fehlender Wärmebehandlung</i> .....	622
3.3.3.7	<i>Turbinenlaufschaufeln der Stufen 2 und 3 verschiedener Kraftwerksgasturbinen mit Zeitstandschädigungen</i> .....	632
3.3.4	<b>Korrosion durch Metallschmelzen</b> .....	640
3.3.4.1	<i>Hochtemperaturkorrosionsangriff von Gasturbinenschaufeln bei der Wärmebehandlung durch Reste einer niedrigschmelzenden Metalllegierung</i> .....	640
3.3.4.2	<i>Weiterer Hochtemperaturkorrosionsangriff von Gasturbinenschaufeln bei der Wärmebehandlung durch Reste einer niedrigschmelzenden Metalllegierung</i> .....	645
3.3.5	<b>Verzunderung (Hochtemperaturkorrosion und -oxidation)</b> .....	652
3.3.5.1	<i>Hochtemperaturkorrosionsangriff von Gasturbinenschaufeln im Betrieb</i> .....	652
3.3.5.2	<i>Hochtemperaturkorrosion an Turbinenlaufschaufeln</i> .....	666
3.3.5.3	<i>Bruchuntersuchung an HPT Shroud Retaining Clips</i> .....	672
	Literaturverzeichnis .....	676
3.3.6	<b>Relaxationsrisse</b> .....	677
3.3.6.1	<i>Rissbildung in heißgasführenden Mischgehäusen von Gasturbinen</i> .....	677
<b>3.4</b>	<b>Schäden durch tribologische Beanspruchungen</b> .....	683
3.4.1	<b>Reiboxidation (Fretting, Passungsrost, Reibrost)</b> .....	683
3.4.1.1	<i>Bruch der Läuferwelle der Hochdruck-Teilturbine einer Dampfturbine</i> .....	683
3.4.1.2	<i>Verhakungsrisse an zwei Schaufeln der Hochdruck-Teilturbine einer Dampfturbine</i> .....	691
3.4.1.3	<i>Verschleiß und Reiboxidation an den Zugankerbuchsen einer Gasturbine</i> .....	695
3.4.1.4	<i>Reiboxidationsschädigung eines Schiffsdampfturbinenlagers aufgrund eines Transportfehlers</i> .....	701
3.4.1.5	<i>Bruch der Spindelwelle einer Dampfturbine</i> .....	720
3.4.2	<b>Furchungverschleiß (Zwei-Körper-Verschleiß, Abrasivgleitverschleiß)</b> .....	731
3.4.2.1	<i>Verschleiß an Dämpfungsbolzen einer Gasturbinenlaufschaufelstufe 4</i> .....	731
<b>3.5</b>	<b>Literaturangaben</b> .....	736
3.5.1	<b>In den Fallstudien direkt zitierte Literatur</b> .....	736
3.5.2	<b>Schäden an Turbomaschinen</b> .....	737
3.5.3	<b>Schadenskunde allgemein</b> .....	738
3.5.4	<b>Untersuchungsmethoden allgemein</b> .....	740
	<i>Metallographie</i> .....	740
	<i>Fraktographie</i> .....	740
	<i>Rasterelektronenmikroskopie</i> .....	740
3.5.5	<b>Ermüdung, Bruchmechanik</b> .....	740
3.5.6	<b>Korrosion in wässrigen Medien</b> .....	741
3.5.7	<b>Thermische Schädigungen</b> .....	741
3.5.8	<b>Kriechverhalten, Zeitstandfestigkeit</b> .....	741
3.5.9	<b>Tribologie</b> .....	742

3.5.10 Werkstoffe, Wärmebehandlung, Superlegierungen .....	742
3.5.11 Fertigungsverfahren, Beschichtungen, Löten und Schweißen .....	742
3.5.12 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung .....	742

## **Teil IV: Werkstoffe der Schadensbauteile aus den Fallstudien .....**

<b>4.1 Werkstoff-Nr. 1.0345 (St 35.8I) .....</b>	<b>745</b>
Literatur .....	746
<b>4.2 Werkstoff-Nr: 1.0402 (unlegierter Kohlenstoffstahl C22) .....</b>	<b>747</b>
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	748
Literatur .....	748
<b>4.3 Werkstoff-Nr. 1.4021 (X20Cr13).....</b>	<b>749</b>
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	751
Literatur .....	751
<b>4.4 Werkstoff-Nr. 1.4024 (X15Cr13) .....</b>	<b>752</b>
<i>Verwendungshinweise</i> .....	753
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	754
Literatur .....	754
<b>4.5 Werkstoff-Nr. 1.4057 (X17CrNi16-2) .....</b>	<b>754</b>
<b>4.6 Werkstoff-Nr. 1.4120 (X20CrMo13) .....</b>	<b>755</b>
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	755
Literatur .....	755
<b>4.7 Werkstoff-Nr. 1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2) .....</b>	<b>756</b>
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	757
Literatur .....	757
<b>4.8 Werkstoff-Nr. 1.4923 (X22CrMoV12-1).....</b>	<b>758</b>
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	759
Literatur .....	760
<b>4.9 Werkstoff-Nr. 1.4961 (X8CrNiNb16-13) .....</b>	<b>761</b>
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	762
Literatur .....	762

4.10 Werkstoff-Nr. 1.4968 (GX7CrNiNb 16-13) .....	763
Literatur .....	763
4.11 Werkstoff-Nr. 1.4971 (X12CrCoNi21-20), Markenname N-155 .....	763
Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz.....	764
Literatur .....	764
4.12 Werkstoff-Nr. 1.5415 (16Mo3) .....	765
Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz.....	766
Literatur .....	766
4.13 Werkstoff-Nr. 1.6513 (28NiCrMo4) .....	766
Literatur .....	766
4.14 Werkstoff-Nr. 1.6582 (34CrNiMo6) .....	767
Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz.....	768
Literatur .....	768
4.15 Werkstoff-Nr. 1.6738 (28NiCrMo7-4) .....	769
Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz.....	769
Literatur: .....	769
4.16 Werkstoff-Nr. 1.7733 (24CrMoV5-5) .....	770
Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz.....	770
Literatur .....	771
4.17 Werkstoff-Nr. 1.8070 (21CrMoV5-11) .....	772
Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz.....	772
Literatur .....	772
4.18 Werkstoff-Nr. 1.8161 (58CrV4) .....	773
Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz.....	773
Literatur .....	773
4.19 Werkstoff-Nr. 2.3770 (LgSn80) .....	774
Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz.....	774
Literatur .....	774
4.20 Udimet 520 (NiCr19Co12MoTiAlW).....	775
Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz.....	775
Literatur .....	775
4.21 Inconel 738 LC (G-NiCr16Co8TiAlWMo).....	776
Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz.....	776
Literatur .....	776

<b>4.22 Inconel 792 (G-NiCr12Co8TiAlWMoHf)</b> .....	777
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	777
Literatur .....	777
<b>4.23 B-1900</b> .....	778
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	778
Literatur: .....	778
<b>4.24 Udimet 720 (NiCr18Co15MoTiAlW)</b> .....	779
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	779
Literatur .....	779
<b>4.25 Werkstoff-Nr. 2.4668 (NiCr19NbMo), Markenname Inconel 718</b> .....	780
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	780
Literatur .....	780
<b>4.26 René 80 (G-NiCr14Co9TiAlWMo)</b> .....	781
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	781
Literatur .....	782
<b>4.27 Werkstoff-Nr. 2.4603 (NiCr21Fe18Mo), Markenname Hastelloy X</b> .....	783
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	784
Literatur .....	784
<b>4.28 Werkstoff-Nr. 2.4632 (NiCr20Co18Ti), Markenname Nimonic 90</b> .....	784
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	785
Literatur: .....	785
<b>4.29 PWA 1484SXL (ähnlich G-NiCr12Co9TiAlWTaMo)</b> .....	786
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	787
Literatur .....	787
<b>4.30 Werkstoff-Nr. 2.4973 (NiCr19CoMo), Markenname René 41</b> .....	788
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	788
Literatur: .....	788
<b>4.31 Werkstoff-Nr. 2.4663 (NiCr23Co12Mo), Markenname Alloy 617</b> .....	789
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	789
Literatur .....	789
<b>4.32 Werkstoff-Nr. 1.4943 (X5NiCrTi26-15), Markenname Alloy A-286</b> .....	790
<i>Hinweise zur Verarbeitung und zum Werkstoffeinsatz</i> .....	790
Literatur .....	790
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	791