

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Bandherausgebers .....	V
Die Herausgeber .....	XVII
Autorenverzeichnis .....	XIX
<b>I Beschichten .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Einführung in die Beschichtungstechnik .....</b>	<b>3</b>
1.1 Allgemeines .....	5
1.2 Einteilung der beschichtenden Fertigungsverfahren .....	8
1.3 Bedeutung der beschichtenden Fertigungsverfahren .....	10
<b>2 Grundlagen des Beschichtens .....</b>	<b>13</b>
2.1 Vorbedingungen für den Einsatz von Beschichtungsverfahren .....	15
2.2 Grundlagen des Erzeugens metallischer Schichten .....	17
2.3 Grundlagen des Erzeugens von Schichten aus anorganisch-nichtmetallischen Stoffen .....	19
2.4 Grundlagen des Erzeugens organischer hochpolymerer Schichten .....	25
<b>3 Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand .....</b>	<b>35</b>
3.1 Allgemeines .....	37
3.2 Aufdampfen .....	39
3.2.1 Grundlagen .....	39
3.2.2 Technologie .....	43
3.2.2.1 Verdampfer .....	43
3.2.2.1.1 Widerstandsheizung .....	43
3.2.2.1.2 Induktive Heizung .....	43
3.2.2.1.3 Elektronenstrahlverdampfer .....	43
3.2.2.2 Verdampfen von verschiedenen Materialien .....	44
3.2.2.3 Vorteile und Nachteile des Verfahrens .....	46
3.2.3 Anwendungen .....	47
3.3 Sputtern .....	48
3.3.1 Grundlagen .....	48
3.3.2 Schichteigenschaften .....	52
3.3.3 Sputtern von verschiedenen Materialien .....	53
3.3.4 Vor- und Nachteile des Verfahrens .....	54
3.3.5 Anwendungen .....	55
3.4 Plasma- und ionengestützte Schichtabscheidung durch Verdampfungsverfahren .....	58
3.4.1 Grundlagen .....	58
3.4.1.1 Verdampfung .....	58
3.4.1.2 Plasma und Ionenströme .....	59
3.4.1.2.1 Niederdruckplasma .....	59
3.4.1.2.2 Physikalische und technische Aspekte der Plasmaerzeugung .....	60
3.4.1.3 Grundlagen des Beschichtungsprozesses .....	62
3.4.1.3.1 Zonen beim plasma- und ionengestützten PVD-Prozess .....	62
3.4.1.3.2 Wirkung von hochenergetischen Teilchen .....	62

3.4.2	Beschichtungsverfahren .....	64
3.4.2.1	Elektronenstrahlverdampfung mit Plasma- und Ionenaktivierung .....	64
3.4.2.1.1	Physikalische Grundlagen .....	65
3.4.2.1.1.1	Elektronenstrahlverdampfer .....	65
3.4.2.1.1.2	Plasma- und Ionenaktivierung bei der Elektronenstrahlverdampfung .....	66
3.4.2.1.2	Technische Realisierung: Beispiel optische Beschichtung .....	68
3.4.2.2	Bogenentladungsverdampfung .....	68
3.4.2.2.1	Anodische Bogenentladungsverdampfung mit Trägergas .....	69
3.4.2.2.1.1	Hohlkathoden-Bogenentladungsverdampfung (HKBEV) .....	69
3.4.2.2.1.2	Niedervolt-Bogenentladungsverdampfung (NVBEV) .....	71
3.4.2.2.2	Vakuum-Bogenentladungsverdampfung (VBEV) .....	72
3.4.2.3	Laserstrahlverdampfung (PLD) .....	77
3.4.3	Der technologische Prozess .....	79
3.4.3.1	Beschichtbare Materialien .....	79
3.4.3.2	Oberflächenkonditionierung .....	80
3.4.3.3	Beschichtungsprozess .....	81
3.4.3.4	Schichtdickenverteilung .....	81
3.5	Beschichten durch Plasmapolymersation .....	83
3.5.1	Einleitung .....	83
3.5.1.1	Allgemeines und Begriffsbestimmung .....	83
3.5.1.2	Historisches .....	84
3.5.2	Grundlagen .....	84
3.5.2.1	Zusammensetzung technischer Plasmen .....	85
3.5.2.2	Monomere .....	85
3.5.2.2.1	Kohlenwasserstoffe .....	85
3.5.2.2.2	Monomere mit funktionellen Gruppen .....	86
3.5.2.2.3	Siliziumorganische Verbindungen .....	86
3.5.2.2.4	Fluorkohlenstoffe .....	86
3.5.2.3	Innere Parameter der Plasmaphase .....	87
3.5.2.4	Mechanismen der Plasmapolymersation .....	88
3.5.2.5	Operative Einflussfelder .....	88
3.5.2.5.1	Die Substrate .....	88
3.5.2.5.2	Die Reaktoren .....	89
3.5.2.5.3	Der Stoffeintrag .....	89
3.5.2.5.4	Der Energieeintrag .....	89
3.5.3	Besondere Eigenschaften von Plasmopolymeren .....	90
3.5.4	Apparatives .....	90
3.5.5	Anwendungen .....	91
3.5.6	Ausblick .....	92
3.6	Beschichten durch chemisches Abscheiden aus der Gasphase .....	94
3.6.1	Allgemeines .....	94
3.6.2	Grundlagen .....	94
3.6.3	Technologie .....	98
3.6.4	Anwendung und Bedeutung .....	100
4	<b>Beschichten aus dem flüssigen, breiigen oder pastenförmigen Zustand .....</b>	<b>107</b>
4.1	Nichtmetallisches organisches Beschichten – Lackieren .....	109
4.1.1	Allgemeines .....	109
4.1.2	Vorbehandlung .....	109
4.1.3	Lacksysteme .....	114
4.1.4	Spritzlackieren ohne elektrostatische Lackaufladung .....	122
4.1.5	Sprühen mit elektrostatischer Lackaufladung .....	125
4.1.6	Tauchlackieren .....	128
4.1.7	Fluten .....	132
4.1.8	Walzen, Gießen und Rakeln .....	133

4.1.9	Schleuderlackierung.....	134
4.1.10	Vakuumlackieren .....	134
4.1.11	Zentrifugieren und Trommeln.....	134
4.1.12	Streichen und Rollen .....	134
4.1.13	Bandbeschichten .....	135
4.2	Nichtmetallisches anorganisches Beschichten - Emaillieren.....	137
4.2.1	Definitionen und allgemeine Technologie.....	137
4.2.2	Allgemeine Grundlagen .....	137
4.2.3	Einteilung der Emails .....	139
4.2.4	Metallsubstrate für die Emaillierung.....	140
4.2.5	Emailfritte .....	140
4.2.6	Emaillierverfahren .....	141
4.2.6.1	Nassauftragen.....	141
4.2.6.1.1	Konventionelle Nass-Auftragsverfahren.....	141
4.2.6.1.2	Nass-Auftragsverfahren im elektrischen Feld .....	141
4.2.6.2	Trockenauftragen .....	142
4.2.7	Nachbehandlung, Anwendung und Prüfung von Emaillierungen .....	143
4.3	Metallisches Beschichten.....	144
4.3.1	Thermisches Spritzen.....	144
4.3.1.1	Allgemeines .....	144
4.3.1.2	Spritzgerechtes Konstruieren und Technische Zeichnungen.....	146
4.3.1.3	Vorbehandlung der Bauteiloberfläche .....	147
4.3.1.4	Grundwerkstoffe .....	148
4.3.1.5	Zusatzwerkstoffe.....	148
4.3.1.6	Thermische Spritzverfahren.....	151
4.3.1.6.1	Drahtflammspritzen .....	151
4.3.1.6.2	Pulverflammspritzen .....	152
4.3.1.6.3	Hochgeschwindigkeitsflammspritzen .....	152
4.3.1.6.4	Hochgeschwindigkeitsdrahtflammspritzen .....	154
4.3.1.6.5	Lichtbogendrahtspritzen.....	155
4.3.1.6.6	Plasmaspritzen .....	156
4.3.1.6.7	Kaltgasspritzen.....	156
4.3.1.6.8	Weitere Spritzverfahren .....	157
4.3.1.7	Prozessüberwachung.....	158
4.3.1.8	Nachbehandlung .....	160
4.3.1.9	Prüfung von Spritzschichten.....	161
4.3.1.10	Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz.....	162
4.3.1.11	Anwendungen.....	162
4.3.2	Schmelztauchen .....	165
4.3.2.1	Allgemeines .....	165
4.3.2.2	Die wichtigsten Schmelztauchverfahren.....	165
4.3.2.3	Grundlagen .....	166
4.3.2.4	Schmelztauchwerkstoffe.....	167
4.3.2.5	Metallträger .....	167
4.3.2.6	Schmelztauchverfahren .....	168
4.3.2.7	Eigenschaften der Schmelztauchüberzüge .....	172
4.3.2.8	Weiterverarbeitung von Werkstücken mit Schmelztauchüberzug und schmelztauchveredelten Feiblechen.....	174
4.4	Sol-Gel-Beschichtungsverfahren .....	175
4.4.1	Einleitung .....	175
4.4.2	Die Solsynthese .....	176
4.4.3	Die Sol-Applikation .....	179
4.4.4	Die Wärmebehandlung.....	181
4.4.5	Anwendungen.....	184

<b>5</b>	<b>Beschichten aus dem ionisierten Zustand durch elektrolytische oder chemische Abscheidung</b> .....	<b>189</b>
5.1	Grundlagen .....	191
5.2	Technologie .....	193
5.2.1	Fertigungsablauf .....	193
5.2.2	Vorbehandlung .....	197
5.2.3	Prozessparameter .....	200
5.2.3.1	Elektrolytische Abscheidung.....	200
5.2.3.2	Außenstromlose Abscheidung .....	202
5.2.4	Prozesskontrolle.....	203
5.2.5	Nachbehandlung .....	205
5.3	Galvanische Überzüge.....	206
5.3.1	Anwendungsspezifische Schichttypen .....	206
5.3.2	Schichteigenschaften und Qualitätskontrolle.....	208
5.4	Umweltaspekte.....	211
5.4.1	Ressourcenschonung.....	211
5.4.2	Verwendung giftiger oder schädlicher Komponenten.....	212
<b>6</b>	<b>Beschichten aus dem festen Zustand</b> .....	<b>217</b>
6.1	Pulverbeschichten .....	219
6.1.1	Allgemeines .....	219
6.1.2	Pulverlacksysteme.....	219
6.1.2.1	Herstellung von Pulverlacken.....	219
6.1.2.2	Duroplaste und Thermoplaste .....	220
6.1.3	Pulverbeschichtungsverfahren .....	224
6.1.3.1	Allgemeines .....	224
6.1.3.2	Pulversintervverfahren .....	225
6.1.3.3	Elektrostatische Pulverbeschichtungsverfahren .....	225
6.2	Metallplattieren.....	230
6.2.1	Plattierverfahren .....	230
6.2.2	Weiterverarbeitung von plattiertem Halbzeug.....	235
6.2.3	Eigenschaften und Einsatzgebiete von Plattierungen .....	236
6.3	Folienbeschichten .....	238
6.3.1	Allgemeines/Einleitung.....	238
6.3.2	Vorbehandlung der Substratoberfläche.....	238
6.3.3	Beschichtungsverfahren und -systeme.....	239
6.3.4	Applikationstechnik .....	240
<b>7</b>	<b>Beschichten durch Schweißen</b> .....	<b>243</b>
7.1	Allgemeines .....	245
7.2	Verfahrensgrundlagen.....	245
7.3	Auftragschweißverfahren .....	246
7.3.1	Schmelzschweißverfahren mit thermischer Aktivierung.....	246
7.3.2	Schmelzschweißverfahren mit radiativer Aktivierung .....	249
7.3.3	Schmelzschweißverfahren mit mechanischer Aktivierung .....	250

<b>II</b>	<b>Wärmebehandlung der Metalle</b>	<b>253</b>
<b>1</b>	<b>Einführung in die Wärmebehandlung</b>	<b>255</b>
1.1	Allgemeines	257
1.2	Bedeutung der Wärmebehandlung	258
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Wärmebehandlung</b>	<b>261</b>
2.1	Allgemeines	263
2.2	Wärmeübertragung	263
2.3	Gitterstörungen	264
2.4	Umwandlungen im festen Zustand	269
2.5	Erholung und Rekristallisation	272
2.6	Eindiffusion von Fremdelementen	276
2.7	Oxidationsvorgänge	278
2.8	Bauteilgestalt und Wärmebehandlung – Entstehung von Spannungen, Eigenspannungen, Maß- und Formänderungen	281
2.8.1	Begriffsdefinitionen der Maß- und Formänderungen und der Eigenspannungen	282
2.8.2	Messen von Maß- und Formänderungen und Eigenspannungen	284
2.8.3	Allgemeine Gesetzmäßigkeiten des Entstehens von Maß- und Formänderungen sowie Eigenspannungen	285
2.8.4	Einfluss vor- und nachgeschalteter Fertigungsoperationen auf den Verzug und die resultierende Eigenspannungsverteilung	288
2.8.5	Einfluss des Werkstoffs auf die Maß- und Formänderungen	290
2.8.6	Charakteristische Maß- und Formänderungsmechanismen und Eigenspannungszustände für verschiedene Wärmebehandlungsverfahren	293
2.8.7	Konstruktionseinfluss auf die Verzugsentstehung	300
2.8.8	Simulation von Wärmebehandlungsprozessen	301
<b>3</b>	<b>Wärmebehandlungsanlagen und -öfen</b>	<b>305</b>
3.1	Übersicht der Wärmebehandlungsprozesse und -anlagen	307
3.1.1	Wärmebehandlungsprozesse	307
3.1.2	Klassifikation der Thermoprozessanlagen	309
3.1.3	Thermische Verfahren	309
3.1.4	Ofenart	309
3.1.5	Gutlagerung	312
3.1.6	Erwärmungsprinzip	312
3.1.7	Hüllmittel	314
3.1.8	Produktionsbereich	314
3.2	Anlagen zur Erwärmung und Wärmebehandlung von Stählen und NE-Metallen	315
3.3	Erwärmung des Gutes	318
3.3.1	Ebene Wand mit Konvektion	321
3.3.2	Unendlich langer Zylinder mit Konvektion	321
3.4	Beheizung von Industrieöfen	323
3.4.1	Brenner für Industrieöfen	323
3.4.2	Elektrische Widerstandsbeheizung	326
3.5	Energetische Beurteilung von Industrieöfen	328
3.5.1	Bilanzen	328
3.5.2	System und Systemgrenzen	329
3.5.3	Definition von Wirkungsgraden	330

<b>4</b>	<b>Wärmebehandlung von Stählen</b> .....	<b>335</b>
4.1	Einführung.....	337
4.2	Thermische Verfahren.....	338
4.2.1	Einfluss einer Zeit-Temperatur-Folge auf den Gefügestand der Eisenwerkstoffe.....	338
4.2.2	Glühen.....	348
4.2.2.1	Diffusionsglühen.....	348
4.2.2.2	Grobkornglühen.....	348
4.2.2.3	Rekristallisationsglühen.....	349
4.2.2.4	Normalglühen.....	350
4.2.2.5	Weichglühen und GKZ-Glühen.....	351
4.2.2.6	TH- und FP-Glühen.....	353
4.2.2.7	Spannungsarmglühen.....	354
4.2.3	Martensitisches Härten.....	355
4.2.4	Anlassen.....	364
4.2.5	Bainitisieren.....	367
4.2.6	Eigenschaften wärmebehandelter Bauteile und Werkzeuge.....	369
4.2.7	Praxis des Härten, Bainitisierens, Anlassens und Vergütens.....	371
4.2.7.1	Vorbereiten und Vorbehandeln, Spannungsarmglühen und Vorvergüten.....	371
4.2.7.2	Härten, Anlassen und Vergüten von Bauteilen.....	371
4.2.7.3	Härten und Anlassen von Werkzeugen.....	373
4.2.7.4	Anlassen.....	376
4.2.7.5	Bainitisieren.....	376
4.2.8	Wärmebehandlungsmittel.....	377
4.2.9	Anlagen zum Wärmebehandeln.....	379
4.2.10	Hinweise zum Richten.....	380
4.2.11	Hinweise für die Konstruktion.....	381
4.2.12	Mängel durch Fehler beim Härten und Anlassen.....	381
4.2.13	Hinweise zum Prüfen der wärmebehandelten Bauteile und Werkzeuge.....	382
4.2.14	Randschichthärten.....	384
4.2.14.1	Randschichthärten und Anlassen zum Verbessern der Gebrauchseigenschaften von Bauteilen und Werkzeugen aus Stahl.....	384
4.2.14.1.1	Ziel des Randschichthärtens und Anlassens.....	384
4.2.14.1.2	Ablauf des Randschichthärtens.....	384
4.2.14.2	Prinzip des Randschichthärtens und Anlassens.....	384
4.2.14.2.1	Austenitisieren.....	384
4.2.14.2.2	Abschrecken.....	385
4.2.14.2.3	Anlassen randschichtgehärteter Werkstücke.....	385
4.2.14.3	Eigenschaften randschichtgehärteter Werkstücke.....	385
4.2.14.3.1	Härte und Härteprofil - Einhärtungstiefe.....	385
4.2.14.3.2	Festigkeitsverhalten.....	385
4.2.14.3.3	Verschleißverhalten.....	386
4.2.14.4	Durchführung des Randschichthärtens.....	386
4.2.14.4.1	Flammhärten.....	386
4.2.14.4.2	Induktionshärten.....	390
4.2.14.4.3	Laserstrahlhärten.....	399
4.2.14.4.4	Elektronenstrahlhärten.....	404
4.2.14.4.5	Weitere Verfahren.....	406
4.2.14.5	Praxis des Randschichthärtens.....	408
4.2.14.5.1	Werkstoffauswahl.....	408
4.2.14.5.2	Vorbehandeln und Vorbereiten der Werkstücke.....	408
4.2.14.5.3	Hinweise zum Abschrecken.....	408
4.2.14.5.4	Angaben und Darstellung in Zeichnungen.....	409
4.2.14.5.5	Hinweise zum Prüfen randschichtgehärteter Werkstücke.....	410
4.2.14.5.6	Nachbehandlung.....	411
4.2.14.6	Hinweise zum Vermeiden fehlerhafter randschichtgehärteter Werkstücke.....	411
4.2.14.6.1	Wärmebehandlungsgerechte Formgestaltung.....	411
4.2.14.6.2	Wärmebehandlungsgerechter Werkstoff und Ausgangszustand.....	412

4.2.14.6.3	Fehler beim Wärmebehandeln .....	415
4.2.14.7	Schleifhärten .....	417
4.3	Thermochemische Verfahren .....	424
4.3.1	Allgemeines .....	424
4.3.2	Einsatzhärten .....	424
4.3.2.1	Grundlagen .....	424
4.3.2.2	Aufkohlungsprozess .....	426
4.3.2.3	Aufkohlungsmedien .....	431
4.3.2.4	Carbonitrieren .....	438
4.3.2.5	Prüfung des Einsatzhärtungsergebnisses .....	442
4.3.2.6	Einsatzhärbarkeit .....	445
4.3.2.7	Eigenschaften einsatzgehärteter Teile .....	446
4.3.2.8	Begleiterscheinungen beim Einsatzhärten .....	448
4.3.3	Nitrieren und Nitrocarburieren .....	459
4.3.3.1	Grundlagen .....	459
4.3.3.2	Gasnitrieren und Gasnitrocarburieren .....	465
4.3.3.3	Plasmanitrieren und Plasmanitrocarburieren .....	468
4.3.3.4	Salzbadnitrocarburieren .....	470
4.3.3.5	Prüfen nitrierter/nitrocarburierter Werkstücke .....	470
4.3.3.6	Eigenschaften .....	472
4.3.3.7	Einflüsse vorangegangener Arbeitsgänge - Vorbehandeln und Vorbereiten .....	477
4.3.4	Borieren .....	480
4.3.4.1	Grundlagen, Eigenschaften .....	480
4.3.4.2	Verfahrenstechnik .....	480
4.3.4.3	Vor- und Nachbehandlung der Werkstücke .....	481
4.3.4.4	Schichtdicke, Schichttypen .....	481
4.3.4.5	Werkstoffe .....	481
4.3.4.6	Anwendungsbeispiele .....	483
4.3.4	Eindiffundieren metallischer Elemente .....	486
4.3.5.1	Grundlagen .....	486
4.3.5.2	Technischer Aspekt .....	487
4.3.5.3	Systeme für Temperaturanwendungen .....	489
4.3.5.4	Systeme zum Verschleißschutz .....	492
4.4	Thermomechanische Verfahren .....	495
<b>5</b>	<b>Wärmebehandlung von Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffen .....</b>	<b>503</b>
5.1	Unterschiede in der Wärmebehandlung von Gusseisenwerkstoffen und Stahl .....	505
5.1.1	Eisenbasis-Gusswerkstoffe .....	506
5.1.1.1	Bezeichnung der Gusseisenwerkstoffe mit Kurznamen .....	507
5.2	Wärmebehandlung von Stahlguss .....	508
5.3	Wärmebehandlung von naheutektischem Gusseisen .....	510
5.3.1	Eutektische Erstarrung in dem System Fe-C-Si .....	510
5.3.2	Allgemeine Wärmebehandlungsschritte für Silizium-legierte Gusseisensorten .....	511
5.3.2.1	Austenitisieren von Fe-C-Si-Legierungen (Hochtemperaturglühung) .....	513
5.3.2.2	Temperglühen: Graphitisierungsglühen .....	514
5.3.2.3	Temperglühen zu schwarzem Temperguss .....	514
5.3.2.4	Glühfrischen zu weißem Temperguss .....	516
5.4	Wärmebehandlungsprozesse für graphithaltige Gusseisenwerkstoffe .....	517
5.4.1	Austenitisieren graphithaltiger Gusswerkstoffe .....	519
5.4.2	Eutektoidisches Umwandeln .....	520
5.4.3	Ferritisierungsglühen, Weichglühen .....	521
5.4.3.1	Ferritisierung von Temperguss .....	521
5.4.3.2	Ferritglühung von Gusseisen mit Kugelgraphit .....	521
5.4.4	Normalglühen, Perlitglühen .....	523
5.4.4.1	Perlitisieren von Gusseisen mit Lamellengraphit .....	523

5.4.4.2	Perlitglühen von Temperguss.....	525
5.4.4.3	Perlitglühen von Kugelgraphitguss.....	527
5.5	Härten und Vergüten von Gusseisen .....	528
5.5.1	Abschrecken in die Martensitstufe .....	528
5.5.1.1	Härten von Temperguss .....	529
5.5.1.2	Härten von Gusseisen mit Kugelgraphit .....	530
5.5.2	Abschrecken und Anlassen (Martempe: Vergüten).....	532
5.5.3	Bainitvergütung (Zwischenstufenvergüten).....	533
5.5.3.1	ADI-Behandlung von Gusseisen mit Kugelgraphit (Ausferritisieren).....	537
5.5.4	Vergüten von verschleißbeständigem, legiertem Gusseisen.....	541
5.5.4.1	Vergüten von Hartguss.....	541
5.5.4.2	Vergüten von Chrom legierten Sondergusseisen.....	543
5.6	Spannungsarmglühen von Gusskomponenten .....	547
5.7	Randschichthärten von Gusseisenkomponenten.....	548
5.7.1	Einsatzbereiche für Gusseisenkomponenten .....	548
5.7.2	Induktionshärten von Gusswerkstoffen .....	549
5.7.3	Flammhärten von Gusswerkstoffen .....	549
5.7.4	Umschmelzhärten von Gusseisen .....	549
5.7.5	Elektronenstrahlhärten, Laserstrahlhärten .....	550
<b>6</b>	<b>Wärmebehandlung von Nichteisenmetalllegierungen .....</b>	<b>553</b>
6.1	Wärmebehandlung von Aluminiumlegierungen.....	555
6.1.1	Legierungssysteme des Aluminiums.....	555
6.1.2	Glühverfahren für Aluminiumlegierungen.....	556
6.1.2.1	Spannungsarmglühen von Aluminiumlegierungen .....	556
6.1.2.2	Erholung und Rekristallisationsglühen von Aluminiumlegierungen.....	557
6.1.2.3	Weichglühen von Aluminiumlegierungen .....	559
6.1.3	Ausscheidungshärten von Aluminiumlegierungen.....	559
6.1.4	Wärmebehandlungssimulation von Aluminiumlegierungen.....	567
6.2	Wärmebehandlung von Magnesiumlegierungen .....	569
6.2.1	Legierungssysteme des Magnesiums .....	569
6.2.2	Glühverfahren für Magnesiumlegierungen .....	569
6.2.3	Ausscheidungshärten von Magnesiumlegierungen .....	569
6.3	Wärmebehandlung von Titanlegierungen.....	572
6.3.1	Legierungssysteme des Titans .....	572
6.3.2	Glühverfahren für Titanlegierungen .....	573
6.3.2.1	Spannungsarmglühen von Titanlegierungen .....	573
6.3.2.2	Weichglühen und Rekristallisationsglühen von Titanlegierungen .....	574
6.3.2.3	$\beta$ -Glühen von Titanlegierungen .....	576
6.3.3	Härteverfahren für Titanlegierungen.....	576
6.3.3.1	Martensitisches Härten von Titanlegierungen.....	576
6.3.3.2	Ausscheidungshärten von Titanlegierungen.....	578
<b>III</b>	<b>Mechanische Randschichtverfestigungsverfahren.....</b>	<b>581</b>
<b>1</b>	<b>Mechanische Randschichtverfestigungsverfahren – Grundlagen.....</b>	<b>583</b>
1.1	Einleitung.....	585
1.2	Kenngrößen des Randschichtzustandes.....	585
1.3	Auswirkungen des Randschichtzustandes bei zyklischer Beanspruchung.....	585
1.3.1	Auswirkungen auf das Wechselverformungsverhalten .....	585
1.3.2	Auswirkungen auf das Rissinitiierungs- und Rissausbreitungsverhalten.....	586
1.3.3	Auswirkungen auf die Schwingfestigkeit .....	587



<b>2</b>	<b>Mechanische Randschichtverfestigungsverfahren – Verfahren</b> .....	<b>591</b>
2.1	Mechanische Randschichtverfestigungsverfahren– Einteilung .....	593
2.2	Kugelstrahlen und Ultraschallkugelstrahlen .....	593
2.2.1	Verfahrensbeschreibung .....	593
2.2.2	Anlagen und Einflussgrößen beim Kugelstrahlen .....	594
2.2.3	Randschichtzustand nach dem Kugelstrahlen .....	596
2.2.4	Anwendungsgebiete des Kugelstrahlens .....	599
2.3	Ultraschallimpulsverfestigung und Hämmern.....	599
2.3.1	Verfahrensdefinition und -abgrenzung.....	599
2.3.2	Anlagen und Einflussgrößen bei der Ultraschallimpulsverfestigung.....	599
2.3.3	Randschichtzustand nach Ultraschallimpulsverfestigung .....	600
2.3.4	Anwendungen für die Ultraschallimpulsverfestigung .....	601
2.4	Laserschockbehandlung .....	601
2.4.1	Verfahrensdefinition und -abgrenzung.....	601
2.4.2	Anlagen und Einflussgrößen bei der Laserschockbehandlung.....	602
2.4.3	Randschichtzustand nach einer Laserschockbehandlung .....	602
2.4.4	Anwendungsbeispiele für die Laserschockbehandlung .....	603
2.5	Festwalzen.....	604
2.5.1	Verfahrensdefinition und -abgrenzung.....	604
2.5.2	Anlagen, Werkzeuge und Einflussgrößen beim Festwalzen .....	604
2.5.3	Randschichtzustand nach dem Festwalzen .....	605
2.5.4	Anwendungsbeispiele für das Festwalzen .....	607
2.6	Autofrettage .....	607
2.6.1	Verfahrensdefinition und -abgrenzung.....	607
2.6.2	Anlagen und Einflussgrößen bei der Autofrettage.....	608
2.6.3	Randschichtzustand nach dem Autofrettieren .....	608
2.7	Zusammenfassung.....	609
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>613</b>