



Inhaltsverzeichnis

Handbuch Wärmebehandeln und Beschichten

Herausgegeben von Günter Spur
Mitherausgeber Hans-Werner Zoch

ISBN (Buch): 978-3-446-42779-2

ISBN (E-Book): 978-3-446-43003-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42779-2>

sowie im Buchhandel.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Bandherausgebers	V
Die Herausgeber	XVII
Autorenverzeichnis	XIX
I Beschichten	1
1 Einführung in die Beschichtungstechnik	3
1.1 Allgemeines	5
1.2 Einteilung der beschichtenden Fertigungsverfahren	8
1.3 Bedeutung der beschichtenden Fertigungsverfahren	10
2 Grundlagen des Beschichtens	13
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
3 Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	35
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 Plasmapolymerisation	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 Plasmapolymerisation	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 Plasmapolymere	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	Beschichten aus dem flüssigen, breiigen oder pastenförmigen Zustand	107
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 Feinblechen.....	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

5	Beschichten aus dem ionisierten Zustand durch elektrolytische oder chemische Abscheidung	189
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
6	Beschichten aus dem festen Zustand	217
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	Pulversinterverfahren	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
7	Beschichten durch Schweißen	243
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

II	Wärmebehandlung der Metalle	253
1	Einführung in die Wärmebehandlung	255
1.1	Allgemeines	257
1.2	Bedeutung der Wärmebehandlung.....	258
2	Grundlagen der Wärmebehandlung	261
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
3	Wärmebehandlungsanlagen und -öfen	305
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

4	Wärmebehandlung von Stählen	335
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	Aufkohlungsvorgang	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
5	Wärmebehandlung von Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffen.....	503
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 (Martemp: 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
6	Wärmebehandlung von Nichteisenmetalllegierungen	553
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	β-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
III	Mechanische Randschichtverfestigungsverfahren.....	581
1	Mechanische Randschichtverfestigungsverfahren – Grundlagen.....	583
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 Rissinitierungs- und Rissausbreitungsverhalten.....	586
1.3.3	Auswirkungen auf die Schwingfestigkeit	587

2	Mechanische Randschichtverfestigungsverfahren – Verfahren	591
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
	Stichwortverzeichnis	613