

Inhaltsverzeichnis

Teil I: Fertigungsverfahren

1 Einführung in die Fertigungstechnik	9	2.1.8	Eigenschaften metallischer Werkstoffe.....	78
1.1 Fertigungstechnik als eine Triebfeder der Menschheit	9	2.1.8.1	Volumeneigenschaften.....	78
1.2 Die Fertigungsverfahren im Überblick	11	2.1.8.2	Werkstoffkennwerte im Vergleich	80
1.3 Entwicklungsphasen der industriellen Technik	14	2.1.8.3	Die Längenausdehnung	81
1.4 Industrie 4.0	16	2.1.8.4	Eigenschaftsänderungen beim Übergang flüssig-fest.....	81
1.5 Aktuelle Entwicklungen	18	2.1.8.5	Dichte bei Legierungen	81
1.5.1 Werkzeugmaschinen	18	2.1.8.6	Aufteilen des Volumendefizits	82
1.5.2 Werkzeuge	19	2.1.8.7	Entstehen eines Innendefizits	82
1.5.3 Fertigungsverfahren	20	2.1.8.8	Entstehen von Spannungen und Rissen.....	84
1.5.4 Leichtbau	22	2.1.8.9	Luft- und Gaseinschlüsse bei der Formfüllung.....	87
1.5.5 Energieeffizienz und Ressourceneffizienz.....	23	2.1.8.10	Schwindung der Gussteile in festem Zustand.....	87
1.6 Geschwindigkeit und Qualität	24	2.1.8.11	Thermische Eigenschaften der Gießwerkstoffe.....	89
1.7 Management	26	2.1.9	Wärmeabfuhr an Formen.....	92
1.7.1 Produktdatenmanagement (PDM).....	26	2.1.9.1	Wärmeübergang von der Schmelze zur Form.....	92
1.7.2 ERP.....	26	2.1.9.2	Wärmebilanz einer Form.....	92
1.7.3 Produktionsmanagement.....	28	2.1.9.3	Wärmedurchgangszahl	93
2 Fertigen mit Metallen	29	2.1.9.4	Schichten.....	94
2.1 Gießereitechnik	29	2.1.9.5	Abkühlkurven für Gussteile	94
2.1.1 Gegossene Bauteile.....	29	2.1.9.6	Kontakttemperatur in der Grenzfläche Schmelze/Gussteil zur Form	95
2.1.2 Geschichtliche Entwicklung	33	2.1.9.7	Wärmefluss im System Schmelze/Gussteil zur Form	96
2.1.3 Begriffe, Bezeichnungen	38	2.1.9.8	Wärmeleitung in einem Körper und Bildung der Randschale	96
2.1.3.1 Unterscheidung nach Werkstoffen.....	38	2.1.9.9	Ermittlung der Erstarrungszeit	97
2.1.3.2 Unterscheidung nach mechanischen Eigenschaften.....	38	2.1.9.10	Der Erstarrungsmodul	98
2.1.3.3 Unterscheidung nach Gießverfahren.....	39	2.1.10	Speisertechnik.....	99
2.1.3.4 Herstellung der Sandformen	40	2.1.10.1	Art der Speiser	99
2.1.3.5 Art der Formfüllung.....	41	2.1.10.2	Position und Geometrie	100
2.1.3.6 Art des Vergießens	42	2.1.10.3	Formstoff zum Abformen der Speiser	100
2.1.3.7 Sonstige Unterscheidungsmerkmale.....	42	2.1.10.4	Anforderungen an Speiser.....	102
2.1.4 Gusswerkstoffe	43	2.1.10.5	Metallostatischer Druck.....	103
2.1.5 Gießverfahren	47	2.1.10.6	Abtrennen eines Speisers	104
2.1.5.1 Sandgießverfahren.....	47	2.1.10.7	Abhängigkeit des Speisungsvolumens von thermischen Verhältnissen	105
2.1.5.2 Schwerkraftkokillengießen	48	2.1.10.8	Belüftung innenliegender Speiser.....	105
2.1.5.3 Niederdruckkokillengießen	49	2.1.11	Formfüllvorgänge	106
2.1.5.4 Schleudergießen.....	49	2.1.12	Strömungsvorgänge der Schmelze	109
2.1.5.5 Feingießen.....	50	2.1.12.1	Schwerkraftgießen	109
2.1.5.6 Druckgießen	51	2.1.12.2	Druckgießen	110
2.1.5.7 Weitere Gießverfahren	55	2.1.12.3	Schleudergießen.....	110
2.1.5.8 Vergleich der Gießverfahren.....	56	2.1.12.4	Aufbau eines Gießsystems	110
2.1.6 Formtechnik	58	2.1.12.5	Staufüllung und Strahlfüllung beim Druckgießen	113
2.1.6.1 Übersicht	58	2.1.13	Simulation der Formfüllung	114
2.1.6.2 Grundlagen	59	2.2 Pulvermetallurgie (PM)	115	
2.1.6.3 Modellarten	61	2.2.1	Metallpulver	115
2.1.6.4 Handformen	62	2.2.2	Die Herstellung pulvermetallurgischer Werkstücke durch Pressen	117
2.1.6.5 Maschinenformen.....	64	2.2.2.1	Aufbereiten der Metallpulver.....	117
2.1.6.6 Formanlagen	67	2.2.2.2	Pressen der Grünlinge.....	118
2.1.6.7 Kerne.....	68	2.2.1.3	Sintern	120
2.1.6.8 Direkte Herstellung von Formen und Kernen	70	2.2.1.4	Nachbehandlung	122
2.1.6.9 Formstoffe	71	2.2.3	Pulverspritzgießen.....	123
2.1.7 Anforderungen an Gussteile und Fertigungsbedingungen.....	72	2.2.4	Sinterwerkstoffe und Sinterwerkstücke	124
2.1.7.1 Einleitung	72	2.3 Umformtechnik	125	
2.1.7.2 Vollständigkeit.....	72	2.3.1	Übersicht	125
2.1.7.3 Vermeiden von Kaltfließstellen	73	2.3.2	Geschichtliche Entwicklung	127
2.1.7.4 Vermeiden innerer Hohlräume.....	74	2.3.3	Metallkundliche Grundlagen	128
2.1.7.5 Maßhaltigkeit	76	2.3.4	Kenngößen und Eigenschaften	130
2.1.7.6 Maßbeständigkeit	76	2.3.5	Druckformen	133
2.1.7.7 Korrosionsfestigkeit.....	77	2.3.5.1	Warmwalzen.....	133
2.1.7.8 Oberflächenbeschaffenheit.....	77	2.3.5.2	Der Vorgang des Walzens	133
		2.3.5.3	Walzverfahren	135
		2.3.5.4	Freiformen	138
		2.3.5.5	Gesekschmieden	141

2.3.5.6	Eindrücken.....	143	2.6.3.9	Kunststoffe.....	228
2.3.5.7	Durchdrücken.....	145	2.6.3.10	Bearbeitung harter Eisenwerkstoffe.....	229
2.3.6	Zugdruckumformen.....	149	2.6.4	Drehen.....	231
2.3.6.1	Gleitziehen.....	149	2.6.4.1	Allgemeines.....	231
2.3.6.2	Tiefziehen.....	151	2.6.4.2	Schnittgrößen beim Drehen.....	232
2.3.6.3	Drücken.....	153	2.6.4.3	Innenaudrehen.....	238
2.3.7	Zugumformen.....	154	2.6.4.4	Abstech- und Einstechdrehen.....	240
2.3.7.1	Längen.....	154	2.6.5	Bohren.....	241
2.3.7.2	Weiten.....	154	2.6.5.1	Bohrvorgang und Eigenschaften.....	241
2.3.7.3	Tiefen.....	155	2.6.5.2	Bohrwerkzeuge.....	249
2.3.8	Biegen.....	156	2.6.5.3	Tiefbohren.....	251
2.3.8.1	Physikalisch-technischer Vorgang.....	156	2.6.6	Reiben und Feinbohren.....	257
2.3.8.2	Biegeverfahren.....	157	2.6.7	Fräsen.....	259
2.3.9	Schubumformen.....	158	2.6.7.1	Fräsverfahren.....	259
2.3.10	Pressmaschinen.....	159	2.6.7.2	Schnittgrößen beim Fräsen.....	261
2.3.10.1	Weggebundene Pressmaschinen.....	159	2.6.7.3	Besondere Fräsverfahren.....	266
2.3.10.2	Kraftgebundene Pressmaschinen.....	161	2.6.8	Maschinelle Gewindeherstellung.....	268
2.3.10.3	Arbeitsgebundene Pressmaschinen.....	162	2.6.8.1	Allgemeines.....	268
2.3.10.4	Servopressen.....	162	2.6.8.2	Innengewindefräsen.....	269
2.4	Endkonturnahe Formgebung.....	163	2.6.8.3	Gewindedrehfräsen.....	271
2.4.1	Hintergrund.....	163	2.6.8.4	Gewindewirbeln.....	272
2.4.2	Endkonturnahe Urformgebung.....	164	2.6.8.5	Gewindedrehen.....	272
2.4.2.1	Gießen.....	164	2.6.9	Räumen.....	275
2.4.2.2	Pulvertechnologien.....	165	2.6.10	Hobeln und Stoßen.....	276
2.4.2.3	Galvanische Verfahren.....	166	2.6.11	Hochgeschwindigkeitsbearbeitung.....	278
2.4.3	Endkonturnahe Umformung.....	167	2.6.11.1	Übersicht.....	278
2.4.3.1	Umformung durch Zugkräfte.....	167	2.6.11.2	Technologischer Hintergrund.....	280
2.4.3.2	Umformung durch Druckkräfte.....	169	2.6.11.3	Prozesskette und Komponenten.....	281
2.5	Spanloses Trennen und Abtragen.....	171	2.6.11.4	Schnittdaten.....	282
2.5.1	Mechanisches Zerteilen.....	171	2.6.11.5	Bearbeitungsstrategie.....	282
2.5.1.1	Scherschneiden.....	171	2.6.11.6	Software und Programmierung.....	286
2.5.1.2	Bruchtrennen (Cracken).....	172	2.6.11.7	HSC-Werkzeuge.....	287
2.5.1.3	Wasserstrahlschneiden.....	173	2.6.11.8	Schneidstoffe.....	288
2.5.2	Thermisches Trennen.....	174	2.6.11.9	Werkzeugaufnahme.....	289
2.5.2.1	Trennen mit Brenngas/Sauerstoff-Flamme.....	174	2.6.11.10	Unwucht.....	291
2.5.2.2	Trennen mit Lichtbogen.....	175	2.6.12	Kühlschmierung.....	293
2.5.2.3	Trennen mit Plasma.....	176	2.6.12.1	Kühlschmierstoffe (KSS).....	294
2.5.2.4	Trennen mit Elektronenstrahl.....	176	2.6.12.2	Aufbereitung und Entsorgung.....	297
2.5.2.5	Trennen mit Laserstrahl.....	177	2.6.13	Minimalmengenschmierung.....	298
2.5.2.6	Abtragen mit Laser.....	177	2.6.14	Trockenbearbeitung.....	300
2.5.3	Abtragen durch Funkenerosion.....	178	2.6.15	Schleifen.....	302
2.5.4	Elektrochemisches Abtragen (ECM).....	184	2.6.15.1	Der Schleifprozess.....	302
2.5.5	Ultraschallerodieren.....	188	2.6.15.2	Das Schleifkorn.....	303
2.6	Zerspanungstechnik.....	189	2.6.15.3	Schleifmittel.....	304
2.6.1	Grundlagen des Zerspanens.....	189	2.6.15.4	Schleifkorngröße (Schleifmittelkörnung).....	306
2.6.1.1	Spanbildung.....	192	2.6.15.5	Schleifmittelbindung.....	307
2.6.1.2	Zerspanungskräfte.....	195	2.6.15.6	Härte und Gefüge.....	308
2.6.1.3	Zerspanungsleistung.....	197	2.6.15.7	Schleiftechnisches Grundprinzip.....	309
2.6.1.4	Werkzeugverschleiß.....	198	2.6.15.8	Schnittwerte beim Schleifen.....	310
2.6.1.5	Standzeit.....	201	2.6.15.9	Schleifverfahren.....	311
2.6.2	Schneidstoffe.....	206	2.6.15.10	Abrichten von Schleifkörpern.....	312
2.6.2.1	Übersicht.....	206	2.6.16	Läppen.....	314
2.6.2.2	Schneidstoffeigenschaften.....	207	2.6.17	Honen.....	315
2.6.2.3	Schnellarbeitsstähle.....	208	2.6.18	Werkzeugmaschinen.....	316
2.6.2.4	Hartmetalle.....	209	2.6.18.1	Fräsmaschinen.....	316
2.6.2.5	Cermets.....	210	2.6.18.2	Drehmaschinen.....	336
2.6.2.6	Keramische Schneidstoffe und Diamant.....	211	2.6.18.3	Schleifmaschinen.....	340
2.6.2.7	Auswahlkriterien.....	215	2.6.18.4	Sägemaschinen.....	343
2.6.2.8	Klassifizierung der Schneidstoffe.....	217	2.6.19	Werkstückspanntechnik.....	344
2.6.3	Zerspanbarkeit.....	221	2.6.19.1	Spannmittel an Drehmaschinen.....	344
2.6.3.1	Technologische Beschreibung.....	221	2.6.19.2	Spannmittel an Fräsmaschinen.....	346
2.6.3.2	Zerspanbarkeit der Stahlwerkstoffe.....	221	2.7	Wärmebehandlung von Stahl.....	350
2.6.3.3	Legierter Stahl.....	223	2.7.1	Durchhärten.....	350
2.6.3.4	Nichtrostende Stähle.....	224	2.7.2	Oberflächenhärten.....	353
2.6.3.5	Gusseisenwerkstoffe.....	225	2.7.2.1	Oberflächenhärten durch Wärmebehandlung.....	353
2.6.3.6	Schwer zerspanbare Werkstoffe.....	226	2.7.2.2	Härten durch chemische Veränderung der Randschicht.....	355
2.6.3.7	Graphit.....	226	2.7.3	Glühen von Stählen.....	356
2.6.3.8	Aluminium-Legierungen.....	227			

3 Fertigen mit Nichtmetallen	357	4.1.4.2	Der Lötprozess	478
3.1 Bauteile aus Kunststoff	357	4.1.4.3	Werkstoffkundliche Aspekte II	478
3.1.1 Werkstoffe	358	4.1.5	Kleben	480
3.1.2 Auslegung von Kunststoffkonstruktionen	360	4.1.5.1	Bindemechanismen an der Phasengrenze Klebstoff/Grundwerkstoff	481
3.1.3 Kunststoffgerechtes Gestalten	361	4.1.5.2	Bindemechanismen innerhalb der Klebeschicht	483
3.1.3.1 Allgemeine Gestaltungs-kriterien	361	4.2 Oberflächenmodifikation von Bauteilen	485	
3.1.3.2 Funktionelle Gesichtspunkte	361	4.2.1	Vorbehandlung	485
3.1.3.3 Werkstofftechnische Gesichtspunkte	362	4.2.1.1	Entfernen von Belägen	486
3.1.3.4 Herstellverfahrenabhängige Gesichtspunkte	363	4.2.1.2	Aktivierung von Oberflächen	488
3.1.3.5 Design	366	4.2.1.3	Glätten von Oberflächen	489
3.1.3.6 Integration von Funktionen als Konstruktionsprinzip	367	4.2.1.4	Einbringen von Druckspannungen	489
3.1.3.7 Elemente der Funktionsintegration	368	4.2.1.5	Abbau von Zugspannungen	489
3.1.4 Die Kunststoffe	369	4.2.1.6	Aufrauen von Oberflächen	490
3.1.4.1 Einteilung und Arten	369	4.2.2	Oberflächenmodifikation	491
3.1.4.2 Composites	373	4.2.2.1	Modifikation durch Diffusion	492
3.1.4.3 Modifizierung von Kunststoffen	375	4.2.2.2	Modifikation mit flüssigem Elektrolyten	493
3.1.4.4 Die wichtigsten Kunststoffe	375	4.2.2.3	Modifikation mit schmelzflüssigen/ gelösten Schichtwerkstoffen	498
3.1.5 Fertigungsverfahren	376	4.2.2.4	Beschichten aus der Gas- oder Dampfphase	506
3.1.5.1 Kontinuierliche Fertigungsverfahren	376	4.2.3	Nachbehandlung	510
3.1.5.2 Diskontinuierliche Fertigungsverfahren	380	4.2.3.1	Reduzierung des gelösten Wasserstoffs	510
3.1.6 Simulation des Spitzgießprozesses	394	4.2.3.2	Konservieren	511
3.2 Bauteile aus Keramik	397	4.2.4	Entfernen von Schichten	512
3.2.1 Einführung und geschichtliche Entwicklung	397	4.3 Montagetechnik	513	
3.2.2 Bauteile aus Silikatkeramik	399	4.3.1	Grundlagen	513
3.2.2.1 Rohstoffe	399	4.3.2	Der Materialfluss	516
3.2.2.2 Aufbereitung	401	4.3.2.1	Lagern	516
3.2.2.3 Formgebung	402	4.3.2.2	Puffern	517
3.2.2.4 Zwischenbearbeitung	402	4.3.2.3	Bunkern	518
3.2.2.5 Sintern	403	4.3.2.4	Magazinieren	519
3.2.2.6 Oberflächenmodifikation	406	4.3.2.5	Fördern	520
3.2.3 Bauteile aus Nichtsilikatkeramik	407	4.3.3	Fügearbeiten	523
3.2.3.1 Gewinnung der Rohstoffe	408	4.3.3.1	Fügestrukturen	523
3.2.3.2 Aufbereitung	412	4.3.3.2	Fügeverfahren	523
3.2.3.3 Formgebung	415	4.3.4	Montagearbeitsplätze	529
3.2.3.4 Zwischenbearbeitung	418	4.3.4.1	Manuelle Montage	529
3.2.3.5 Hochtemperaturbehandlung	420	4.3.4.2	Maschinelle Montage	523
3.2.3.6 Endbearbeitung	427	4.3.5	Montageplanung	533
3.3 Bauteile aus Silikatglas	428	5 Roboter im Fertigungsprozess	535	
3.3.1 Geschichte der Silikatgläser	428	5.1 Einführung zur Robotertechnik	535	
3.3.2 Silikatgläser heute	430	5.2 Einteilung	535	
3.3.3 Rohstoffe und Aufbereitung	431	5.3 Kinematischer Aufbau	537	
3.3.3.1 Rohstoffe	431	5.4 Roboterprogrammierung	541	
3.3.3.2 Aufbereitung	432	5.5 Koordinatensysteme	544	
3.3.4 Schmelzen und Raffinieren	433	5.6 Robotersensorführung	545	
3.3.4.1 Schmelzen	433	5.7 Bearbeitungsaufgaben	547	
3.3.4.2 Raffinieren	434	6 Laser in der Fertigungstechnik	549	
3.3.5 Urformgebung	434	6.1 Grundlagen zur Lasertechnik	549	
3.3.5.1 Urformgebung unter Schwerkraft	435	6.1.1	Wichtige Laserarten zur Bearbeitung	549
3.3.5.2 Urformgebung unter Druckerwendung	436	6.1.2	Laserstrahlerzeugung	550
3.3.5.3 Temperung	438	6.1.3	Aufbau von Laserstrahlquellen	551
3.3.5.4 Urformen durch Pulvertechnologie	439	6.1.4	Betriebs- und Wartungskosten	554
3.3.6 Spanlose Formgebung	439	6.1.5	Strahlführung zum Bearbeitungsort	554
3.3.7 Spanabhebende Formgebung	439	6.1.5.1	Strahlführung mit Lichtleitkabel (LLK)	554
3.3.8 Fügen	440	6.1.5.2	Strahlführung als Freistrahler	556
3.3.9 Oberflächenmodifikation	440	6.1.5.3	Welding-on-the-fly	556
4 Fügen, Modifizieren und Montieren	443	6.1.6	Strahlformung am Bearbeitungsort	557
4.1 Stoffschlüssiges Fügen	443	6.1.7	Strahlqualität	558
4.1.1 Fügetechniken in einer Übersicht	443	6.2 Werkstückbearbeitung	560	
4.1.2 Schweißen von Metallen	444	6.2.1	Grundlagen	560
4.1.2.1 Pressschweißverfahren	446	6.2.1.1	Fokussierung	560
4.1.2.2 Schmelzschweißverfahren	457	6.2.1.2	Verschmutzungsschutz	561
4.1.2.3 Werkstoffkundliche Aspekte	468			
4.1.3 Schweißen polymerer Werkstoffe	472			
4.1.4 Löten	474			
4.1.4.1 Werkstoffkundliche Aspekte	475			

6.2.1.3	Absorption.....	562	1.3.9	Messgeräte.....	654
6.2.2	Laseranwendungen.....	563	1.3.9.1	Messmikroskop und Profilprojektor.....	654
6.2.2.1	Laserschweißen.....	563	1.3.9.2	Komparator.....	656
6.2.2.2	Laserschneiden.....	567	1.3.10	Mehrstellenmessgeräte.....	658
6.2.2.3	Laserbohren.....	569	1.3.11	Laserscanner.....	659
6.2.2.4	Laserlöten.....	570	1.3.12	Formmessgeräte.....	659
6.2.2.5	Laserbeschriften und Laserstrukturieren.....	571	1.3.12.1	Formmessgeräte für runde Teile.....	660
6.2.2.6	Laserhärten.....	572	1.3.12.2	Geradheitsmessgeräte.....	662
6.2.2.7	Laserbeschichten.....	572	1.4	Interferometrische Messverfahren.....	663
7	Additive Fertigung (AM).....	573	1.4.1	Grundlagen.....	663
7.1	Allgemeines.....	573	1.4.1.1	Aufbau von Interferometern zur Wegmessung.....	663
7.2	Ziele.....	573	1.4.1.2	Strahlungsquellen.....	665
7.3	AM-Verfahren.....	576	1.4.2	Einflüsse auf die Messgenauigkeit.....	665
7.3.1	Stereolithographie.....	588	1.4.3	Anwendungen längenmessender Interferometrie.....	667
7.3.2	Lasersintern.....	582	1.4.3.1	Kippwinkelmessung.....	667
7.3.3	Fused Layer Modeling (FLM).....	587	1.4.3.2	Geradheitsmessungen.....	668
7.3.4	3D-Druckverfahren.....	588	1.4.3.3	Ebenheitsmessung.....	669
7.3.5	Bioplotter, Herstellung medizinischer Implantate.....	590	1.4.4	Formprüfung.....	669
7.4	Rapid Manufacturing (RM).....	591	1.5	Oberflächenmesstechnik.....	670
Teil II: Mess- und Prüftechnik			1.5.1	Mechanische Oberflächenmessung.....	671
1.1	Grundlagen der geometrischen Messtechnik.....	593	1.5.2	Berührungslose Oberflächenmessung.....	672
1.1.1	Messabweichungen.....	596	1.5.2.1	Optische Oberflächenmesstechnik.....	672
1.1.1.1	Ordnung von Messabweichungen.....	597	1.5.2.2	Weißlichtinterferometer.....	673
1.1.1.2	Messabweichungen durch geometrische Einflüsse.....	598	1.5.2.3	Streulichtmessungen.....	673
1.1.1.3	Verformungen durch Eigengewicht, Messkraft und Spannkraft.....	604	1.5.3	Rastersondenmikroskope.....	674
1.1.1.4	Temperatureinfluss.....	609	1.5.3.1	Rasterkraftmikroskop (AFM-Atomic Force Microscope).....	674
1.1.1.5	Abweichungen durch Schwingungen.....	611	1.5.3.2	Rastertunnelmikroskop (STM-Scanning-Tunnel Microscope).....	675
1.2	Maßverkörperungen.....	613	1.5.4	Oberflächenkenngrößen.....	675
1.2.1	Endmaße.....	613	1.6	Koordinatenmesstechnik.....	677
1.2.1.1	Parallelendmaße.....	613	1.6.1	Einführung.....	677
1.2.1.2	Weitere Bauformen von Endmaßen.....	615	1.6.2	Aufbau und Wirkungsweise.....	678
1.2.2	Maßstäbe und Drehgeber.....	616	1.6.3	Bauarten.....	679
1.2.2.1	Strichmaßstäbe.....	616	1.6.4	Messsysteme.....	679
1.2.2.2	Inkrementalmaßstäbe.....	616	1.6.5	Zusatzausstattungen.....	682
1.2.2.3	Absolutmaßstäbe.....	620	1.6.6	Steuerungen und Antriebe.....	683
1.3	Form und Lage.....	621	1.6.7	Messwertverarbeitung und Messwertauswertung.....	683
1.3.1	Gerade.....	621	1.6.8	Tastelementkalibrierung.....	686
1.3.2	Ebene.....	624	1.6.9	Planung und Durchführung eines Messauftrags.....	687
1.3.2.1	Messplatten.....	624	1.6.10	Messprogrammerstellung.....	689
1.3.2.2	Ebenheitsprüfung.....	625	1.7	Röntgen-Computertomographie (CT).....	693
1.3.3	Kreis, Zylinder.....	627	1.7.1	Funktionsweise.....	693
1.3.4	Winkelverkörperungen.....	628	1.7.2	Anlagentechnik.....	694
1.3.4.1	Rechter Winkel.....	628	1.7.3	Auflösung.....	696
1.3.4.2	Beliebige Winkel.....	629	1.7.4	Anwendungen.....	697
1.3.5	Lehren.....	630	1.8	Messen und Prüfen durch Bildverarbeitung.....	700
1.3.6	Anzeigende Messgeräte.....	633	1.8.1	Grundlagen.....	701
1.3.6.1	Messschieber.....	633	1.8.2	Szenenbeleuchtung.....	704
1.3.6.2	Messschrauben.....	634	1.8.3	2D-Bildverarbeitung.....	708
1.3.6.3	Messuhren.....	636	1.8.4	3D-Bildaufnahme und Digitalisierung.....	713
1.3.6.4	Messtaster mit Inkrementalmaßstab.....	637	1.8.5	Trackingsysteme.....	716
1.3.6.5	Feinzeiger.....	637	2	Werkstoffprüfung.....	717
1.3.6.6	Fühlhebelmessgeräte.....	638	2.1	Einführung.....	717
1.3.6.7	Winkelmessgeräte.....	639	2.2	Chemische Zusammensetzung.....	718
1.3.6.8	Neigungsmessgeräte.....	639	2.3	Innere Werkstofftrennungen.....	721
1.3.6.9	Autokollimationsfernrohr.....	641	2.3.1	Penetrationsverfahren.....	721
1.3.7	Längenmessgeräte.....	645	2.3.2	Wirbelstromverfahren.....	722
1.3.7.1	Induktive Messtaster.....	645	2.3.3	Streuflussverfahren.....	723
1.3.7.2	Trägerfrequenzverstärker.....	648	2.3.4	Durchstrahlung.....	725
1.3.7.3	Pneumatische Wegaufnehmer.....	649	2.3.5	Durchschallung.....	727
1.3.7.4	Optische Wegaufnehmer.....	649			
1.3.8	Messtechnische Hilfsmittel.....	652			

2.4	Härteprüfung	730	4.2.2	Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit.....	820
2.4.1	Quasistatische Eindringhärteprüfverfahren	731	4.2.3	Lineargenauigkeit/Bahngenauigkeit.....	823
2.4.1.1	Härteprüfverfahren nach Brinell.....	732	4.2.4	Formgenauigkeit/Ebenengenauigkeit.....	824
2.4.1.2	Härteprüfverfahren nach Vickers.....	736	4.2.5	Dynamisches Bewegungsverhalten.....	825
2.4.1.3	Härteprüfverfahren nach Rockwell.....	739	4.2.6	Positions-Stabilisierungszeit.....	826
2.4.2	Dynamische Härteprüfverfahren.....	742	4.2.7	Statische Nachgiebigkeit.....	827
2.5	Gefüge	744	4.2.8	Weitere Merkmale.....	827
2.5.1	Lichtmikroskopische Darstellung.....	744	Anhang: Kleine Werkstoffkunde der Metalle		
2.5.1.1	Probennahme.....	745	1	Werkstoffe	828
2.5.1.2	Herstellung des Schliffs.....	746	1.1	Entwicklungsphasen.....	828
2.5.1.3	Gefügebewertung.....	748	1.2	Eigenschaften der Konstruktionswerkstoffe.....	830
2.5.2	Elektronenmikroskopische Darstellung.....	749	1.2.1	Einleitung.....	830
2.6	Mechanische Eigenschaften	751	1.2.2	Dichte.....	830
2.6.1	Zugversuch.....	751	1.2.3	Elastizitätsmodul und Zähigkeit.....	831
2.6.2	Druckversuch.....	758	1.2.4	Versagensspannung.....	832
2.6.3	Torsionsversuch.....	760	1.2.5	Wärmeleitfähigkeit.....	833
2.6.4	Kerbschlagbiegeversuch.....	761	1.2.6	Temperaturleitfähigkeit.....	834
2.6.5	Dauerschwingversuch.....	763	1.2.7	Verlustfaktor.....	835
2.6.6	Bruchmechanik.....	770	1.2.8	Linearer Ausdehnungskoeffizient.....	836
2.6.7	Zeitstandsversuch unter Zugbeanspruchung.....	775	1.2.9	Zusammenfassung.....	837
2.6.7.1	Schädigungsmechanismen.....	775	2	Atomaufbau und Bindungstypen	838
2.6.7.2	Durchführung des Zeitstandsversuchs.....	776	2.1	Metallbindung.....	838
3	Maschinen- und Bauteilverhalten	779	2.2	Atombindung.....	839
3.1	Bauteilprüfung	779	2.3	Ionenbindung.....	839
3.1.1	Kennwerte für Werkstoffe und Bauteile.....	779	3	Aufbau metallischer Werkstoffe	840
3.1.2	Nachweis der Betriebsfestigkeit gegenüber mechanischen Beanspruchungen.....	781	3.1	Gitteraufbau des Idealkristalls.....	840
3.1.2.1	Auswahl schwingbruchgefährdeter Querschnitte.....	781	3.2	Gitterfehler beim Realkristall.....	842
3.1.2.2	Experimentelle Beanspruchungsanalyse.....	782	3.2.1	Punktförmige Gitterfehler.....	842
3.1.2.3	Datenaufbereitung und Zählverfahren.....	783	3.2.1	Linienförmige Gitterfehler.....	844
3.1.2.4	Festlegung der Versuchslasten.....	785	3.2.2	Flächiger Gitterfehler.....	845
3.1.2.5	Prüfstandsversuche.....	786	3.3	Gleichgewichtszustände.....	847
3.1.2.6	Serienüberwachung und Qualitätskontrolle.....	788	3.3.1	Bei lückenloser Mischkristallreihe.....	847
3.1.3	Innendruckprüfung.....	789	3.3.2	Bei Unlöslichkeit in festem Zustand.....	848
3.1.3.1	Pulsationsform.....	789	3.3.3	Bei begrenzter Löslichkeit in festem Zustand.....	848
3.1.3.2	Prüfmedien.....	790	3.3.4	Bei intermetallischer bzw. intermediärer Phase.....	850
3.1.3.3	Prüfeinrichtung.....	790	3.4	Phasenumwandlungen.....	851
3.1.3.4	Versuchsergebnisse.....	791	3.4.1	Erstarrung.....	851
3.1.4	Umweltprüfverfahren.....	793	3.4.2	Umwandlung im festen Zustand.....	856
3.1.4.1	Vibrationsprüfungen und Schockprüfungen.....	793	4	Eigenschaften metallischer Werkstoffe	858
3.2	Schwingungen von Maschinen und Bauteilen	797	4.1	Thermische Leitfähigkeit.....	858
3.2.1	Einführung.....	797	4.2	Verformung bei nur unbedeutenden Diffusionsprozessen.....	858
3.2.2	Eigenfrequenzen und Eigenformen.....	798	4.2.1	Elastische Verformung.....	858
3.2.3	Modalanalyse.....	799	4.2.2	Plastische Verformung.....	859
3.2.3.1	Rechnerische Modalanalyse.....	799	4.3	Verfestigung.....	862
3.2.3.2	Experimentelle Modalanalyse.....	800	4.3.1	Verfestigung durch linienförmige Gitterfehler.....	862
3.2.3.3	Beispiele zur Modalanalyse.....	803	4.3.2	Verfestigung durch flächige Gitterfehler.....	863
4	Qualifizierung von Produktionsmitteln	805	4.3.3	Verfestigung durch punktförmige Gitterfehler.....	867
4.1	Qualifizierung von Werkzeugmaschinen	805	4.4	Verfestigungsabbau.....	867
4.1.1	Einleitung und Übersicht.....	805	4.4.1	Erholung.....	867
4.1.2	Direkte Messungen der Maschineneigenschaften.....	806	4.4.2	Rekristallisation.....	868
4.1.3	Abnahme- und Prüfwerkstücke.....	812	4.5	Plastische Verformung bei Diffusionsprozessen.....	869
4.1.4	Fähigkeitsuntersuchungen.....	816	Fachwörterbuch Deutsch – Englisch, Sachwortverzeichnis	870	
4.2	Qualifizierung von Industrierobotern	819	Quellenverzeichnis	895	
4.2.1	Übersicht und Allgemeines.....	819			