

Inhaltsverzeichnis

Fertigungsverfahren

1 Einführung in die industrielle Fertigungstechnik	9	2.1.8.3 Die Längenausdehnung	81
1.1 Fertigungstechnik als eine Triebfeder der Menschheit	9	2.1.8.4 Eigenschaftsänderungen beim Übergang flüssig – fest	81
1.2 Die Fertigungsverfahren im Überblick	11	2.1.8.5 Dichte bei Legierungen	81
1.3 Entwicklungsphasen der industriellen Technik	14	2.1.8.6 Aufteilen des Volumendefizits	82
1.4 Industrie 4.0	16	2.1.8.7 Entstehen eines Innendefizits	82
1.5 Aktuelle Ziele und Entwicklungen	18	2.1.8.8 Entstehen von Luft- und Gaseinschlüssen bei der Formfüllung	84
1.5.1 Werkzeugmaschinen	18	2.1.8.9 Entstehen von Spannungen und Rissen	86
1.5.2 Fertigungsverfahren	20	2.1.8.10 Schwindung der Gussteile in festem Zustand	87
1.5.3 Leichtbau	22	2.1.8.11 Thermische Eigenschaften der Gießwerkstoffe	89
1.5.4 Energieeffizienz und Ressourceneffizienz	23	2.1.9 Wärmeabfuhr an Formen	92
1.6 Geschwindigkeit und Qualität	24	2.1.9.1 Wärmeübergang von der Schmelze zur Form	92
1.7 Management	26	2.1.9.2 Wärmebilanz einer Form	92
1.7.1 Produktdatenmanagement (PDM)	26	2.1.9.3 Wärmedurchgangszahl	93
1.7.2 ERP	26	2.1.9.4 Schlachten	94
1.7.3 Manufacturing-Execution-Systeme – MES	27	2.1.9.5 Abkühlkurven für Gussteile	94
1.7.4 Supply Chain Management (SMC)	28	2.1.9.6 Kontakttemperatur in der Grenzfläche von Schmelze/Gussteil zur Form	95
2 Fertigen mit Metallen	29	2.1.9.7 Wärmefluss im System Schmelze/Gussteil zur Form	96
2.1 Gießereitechnik	29	2.1.9.8 Wärmeleitung in einem Körper und Bildung der Randschale	96
2.1.1 Gegossene Bauteile	29	2.1.9.9 Ermittlung der Erstarrungszeit	97
2.1.2 Geschichtliche Entwicklung	32	2.1.9.10 Der Erstarrungsmodul	98
2.1.3 Begriffe, Bezeichnungen	38	2.1.10 Speisertechnik	99
2.1.3.1 Unterscheidung nach Werkstoffen	38	2.1.10.1 Art der Speiser	99
2.1.3.2 Unterscheidung nach mechanischen Eigenschaften	38	2.1.10.2 Position und Geometrie der Speiser	100
2.1.3.3 Unterscheidung nach Gießverfahren	39	2.1.10.3 Formstoff zum Abformen der Speiser	100
2.1.3.4 Art der Formfüllung	40	2.1.10.4 Anforderungen an Speiser	102
2.1.3.5 Art des Vergießens	41	2.1.10.5 Metallostatischer Druck	103
2.1.3.6 Sonstige Unterscheidungsmerkmale	41	2.1.10.6 Abtrennen der Speiser	104
2.1.4 Gusswerkstoffe	42	2.1.10.7 Abhängigkeit des Speisungsvolumens von thermischen Verhältnissen	105
2.1.5 Gießverfahren	46	2.1.10.8 Belüftung innenliegender Speiser	105
2.1.5.1 Sandgießverfahren	46	2.1.11 Formfüllvorgänge	106
2.1.5.2 Schwerkraftkokillengießen	48	2.1.12 Strömungsvorgänge der Schmelze	109
2.1.5.3 Niederdruckkokillengießen	49	2.1.12.1 Schwerkraftgießen	109
2.1.5.4 Schleudergießen	49	2.1.12.2 Druckgießen	110
2.1.5.5 Feingießen	50	2.1.12.3 Schleudergießen	110
2.1.5.6 Druckgießen	51	2.1.12.4 Aufbau eines Gießsystems	110
2.1.5.7 Weitere Gießverfahren	55	2.1.12.5 Stauffüllung und Strahlfüllung	113
2.1.5.8 Vergleich der Gießverfahren	56	2.1.13 Simulation der Formfüllung	114
2.1.6 Formtechnik	58	2.2 Pulvermetallurgie (PM)	115
2.1.6.1 Übersicht	58	Metallpulver	116
2.1.6.2 Grundlagen	59	Die Herstellung pulvermetallurgischer Werkstücke	117
2.1.6.3 Modellarten	61	Aufbereiten der Metallpulver	117
2.1.6.4 Handformen	62	Pressen der Grünlinge	118
2.1.6.5 Maschinenformen	64	Sintern	120
2.1.6.6 Formanlagen	67	Nachbehandlung	122
2.1.6.7 Kerne	68	Pulverspritzgießen	123
2.1.6.8 Direkte Herstellung von Formen und Kernen	70	Sinterwerkstoffe und Sinterwerkstücke	124
2.1.6.9 Formstoffe	71	Gestaltung	124
2.1.7 Anforderungen an Gussteile und Fertigungsbedingungen	72	2.3 Galvanische Verfahren	125
2.1.7.1 Einleitung	72	Galvanoformung	125
2.1.7.2 Vollständigkeit	72	Lithographie-Galvanik-Abformung (LIGA)	125
2.1.7.3 Vermeiden von Kaltfließstellen	73	2.4 Umformtechnik	126
2.1.7.4 Vermeiden innerer Hohlräume	74	Übersicht	126
2.1.7.5 Maßhaltigkeit	75	Geschichtliche Entwicklung	128
2.1.7.6 Maßbeständigkeit	76	Metallkundliche Grundlagen	129
2.1.7.7 Korrosionsfestigkeit	77	Druckformen	133
2.1.7.8 Oberflächenbeschaffenheit	77	Warmwalzen	133
2.1.8 Eigenschaften metallischer Werkstoffe	78	Der Vorgang des Walzens	133
2.1.8.1 Volumeneigenschaften	78	Walzverfahren	135
2.1.8.2 Werkstoffkennwerte im Vergleich	80	Freiformen, Übersicht	138
		Gesenkschmieden	141
		Eindrücken	145
		Durchdrücken	147

2.4.5	Zugdruckumformen.....	152	2.6.5.3	Tieffohren.....	249
2.4.5.1	Gleitziehen	152	2.6.5.4	Aussteuerwerkzeuge	255
2.4.5.2	Tiefziehen	154	2.6.6	Reiben und Feinbohren	256
2.4.5.3	Drücken	156	2.6.7	Fräsen	257
2.4.6	Zugumformen	157	2.6.7.1	Fräswerfahren	257
2.4.6.1	Längen	157	2.6.7.2	Schnittgrößen beim Fräsen	258
2.4.6.2	Weiten	157	2.6.7.3	Besondere Fräswerfahren	263
2.4.6.3	Tiefen	158	2.6.8	Maschinelle Gewindeherstellung	266
2.4.7	Biegen	161	2.6.8.1	Allgemeines	266
2.4.7.1	Physikalisch-technischer Vorgang	161	2.6.8.2	Innengewindefräsen	267
2.4.7.2	Biegeverfahren	162	2.6.8.3	Gewindedrehfräsen	269
2.4.8	Schubumformen	164	2.6.8.4	Gewindewirbeln	270
2.4.9	Pressmaschinen	165	2.6.8.5	Gewindedrehen	270
2.4.9.1	Weggebundene Pressmaschinen	165	2.6.9	Räumen.....	273
2.4.9.2	Kraftgebundene Pressmaschinen	167	2.6.10	Hobeln und Stoßen	275
2.4.9.3	Arbeitsgebundene Pressmaschinen	168	2.6.11	Hochgeschwindigkeitsbearbeitung	276
2.4.9.4	Servopressen.....	168	2.6.11.1	Übersicht	276
2.5	Spanloses Trennen und Abtragen	169	2.6.11.2	Technologischer Hintergrund	278
2.5.1	Mechanisches Zerteilen	169	2.6.11.3	Prozesskette und Komponenten	279
2.5.1.1	Scherschneiden.....	169	2.6.11.4	Schnittdaten	280
2.5.1.2	Bruchtrennen (Cracken ¹⁾	171	2.6.11.5	Bearbeitungsstrategie	280
2.5.1.3	CNC-Stanzen.....	172	2.6.11.6	Software und Programmierung	284
2.5.1.4	Wasserstrahlschneiden	173	2.6.11.7	HSC-Werkzeuge	285
2.5.1.5	Abtragen und Modifizieren durch Strahlen.....	174	2.6.11.8	Schneidstoffe	286
2.5.2	Thermisches Trennen und Abtragen.....	175	2.6.11.9	Werkzeugaufnahme	287
2.5.2.1	Trennen mit Brenngas/Sauerstoff-Flamme	175	2.6.11.10	Unwucht	289
2.5.2.2	Trennen mit Lichtbogen	176	2.6.12	Kühlshmierung	291
2.5.2.3	Trennen mit Plasma ¹⁾	177	2.6.12.1	Kühlshmierstoffe (KSS)	292
2.5.2.4	Trennen mit Elektronenstrahl	177	2.6.12.2	Aufbereitung und Entsorgung	295
2.5.2.5	Trennen und Bearbeiten mit Laserstrahl	177	2.6.13	Minimalmengenschmierung (MMS)	296
2.5.3	Abtragen durch Funkenerosion	178	2.6.14	Trockenbearbeitung	298
2.5.4	Elektrochemisches Abtragen (ECM)	184	2.6.15	Schleifen	300
2.5.5	Ultraschallerosion.....	188	2.6.15.1	Schleifverfahren	300
2.6	Zerspanungstechnik	189	2.6.15.2	Schleifprozess	301
2.6.1	Einführung	189	2.6.15.3	Schleifkorn	302
2.6.1.1	Spanbildung	192	2.6.15.4	Schleifmittel	303
2.6.1.2	Zerspanungs Kräfte	195	2.6.15.5	Schleifkorngröße (Schleifmitteltörnung)	305
2.6.1.3	Zerspanungsleistung	197	2.6.15.6	Schleifmittelbindung	306
2.6.1.4	Werkzeugverschleiß	198	2.6.15.7	Härte und Gefüge	307
2.6.1.5	Standzeit	201	2.6.15.8	Schleiftechnisches Grundprinzip	308
2.6.2	Schneidstoffe	206	2.6.15.9	Schnittwerte beim Schleifen	309
2.6.2.1	Übersicht	206	2.6.15.10	Schnittkraft und Schnittleistung beim Schleifen	310
2.6.2.2	Schneidstoffeigenschaften	207	2.6.15.11	Abreihen von Schleifkörpern	311
2.6.2.3	Schnellarbeitsstähle	208	2.6.16	Läppen	312
2.6.2.4	Hartmetalle	210	2.6.17	Honen	313
2.6.2.5	Cermets	211	2.6.18	Entgraten	314
2.6.2.6	Keramische Schneidstoffe und Diamant.....	212	2.6.18.1	Allgemeines	314
2.6.2.7	Auswahlkriterien	216	2.6.18.2	Entgratverfahren	315
2.6.2.8	Klassifizierung der Schneidstoffe	218	2.6.19	Werkzeugmaschinen	316
2.6.3	Zerspanbarkeit	221	2.6.19.1	Fräsmaschinen	316
2.6.3.1	Technologische Beschreibung.....	221	2.6.19.2	Drehmaschinen	336
2.6.3.2	Zerspanbarkeit der Stahlwerkstoffe	221	2.6.19.3	Schleifmaschinen	340
2.6.3.3	Legierter Stahl.....	222	2.6.19.4	Sägemaschinen	343
2.6.3.4	Nichtrostende Stähle	223	2.6.20	Werkstückspanntechnik	344
2.6.3.5	Gusseisenwerkstoffe	224	2.6.20.1	Mechanische Spannsysteme	345
2.6.3.6	Schwer zerspanbare Werkstoffe	225	2.6.20.2	Hydraulische und pneumatische Spann- systeme	346
2.6.3.7	Graphit	225	2.6.20.3	Vakuum-Spannsysteme	347
2.6.3.8	Aluminium-Legierungen	226	2.6.20.4	Magnetspanntechnik	349
2.6.3.9	Kunststoffe	227	2.6.20.5	Gefrierspanntechnik	349
2.6.3.10	Verbundwerkstoffe (Composites).....	227	2.7	Wärmebehandlung von Stahl	350
2.6.3.10	Bearbeitung harter Eisenwerkstoffe	228	2.7.1	Durchhärteten	350
2.6.4	Drehen	230	2.7.2	Oberflächenhärteten	353
2.6.4.1	Allgemeines	230	2.7.2.1	Oberflächenhärteten durch Wärmebehandlung	353
2.6.4.2	Schnittgrößen beim Drehen	231	2.7.2.2	Härteten durch chemische Veränderung der Randschicht	354
2.6.4.3	Innenausdrehen	236	2.7.2.3	Glühen von Stählen	356
2.6.4.4	Abstech- und Einstechdrehen	238			
2.6.4.5	Besondere Drehverfahren	240			
2.6.5	Bohren	241			
2.6.5.1	Bohrvorgang und Eigenschaften	241			
2.6.5.2	Bohrwerkzeuge	247			

3 Fertigen mit Nichtmetallen	357	4.1.3 Schweißen polymerer Werkstoffe	472
3.1 Produkte aus Kunststoffen	357	4.1.4 Löten	474
3.1.1 Kunststoffe.....	357	4.1.4.1 Werkstoffkundliche Aspekte I	475
3.1.1.1 Einteilung und Arten	357	4.1.4.2 Lötprozess	478
3.1.1.2 Bauteilgestaltung	363	4.1.4.3 Werkstoffkundliche Aspekte II	478
3.1.2 Fertigungsverfahren	364	4.1.5 Kleben	480
3.1.2.1 Extrudieren ¹	365	4.1.5.1 Werkstoffkundliche Aspekte	481
3.1.2.2 Folienblasen	367	4.1.5.2 Bindemechanismen innerhalb der Klebstoffsicht	482
3.1.2.3 Kalandrieren	368	4.2 Oberflächenmodifikation von Bauteilen	485
3.1.2.4 Spritzgießen	369	4.2.1 Vorbehandlung	485
3.1.2.5 Varianten des Spritzgießens	375	4.2.1.1 Entfernen von Belägen	486
3.1.2.6 Simulation des Spritzgießprozesses	377	4.2.1.2 Aktivierung von Oberflächen	488
3.1.2.7 Hohlkörperblasen (Blasformen).....	380	4.2.1.3 Glätten von Oberflächen	489
3.1.2.8 Schäumen	381	4.2.1.4 Eigenspannungen	489
3.1.2.9 Thermoformen	382	4.2.1.5 Aufrauen von Oberflächen	490
3.2 Faserverstärkte Kunststoffe (FVK)	383	4.2.2 Oberflächenmodifikation	491
3.2.1 Einteilung und Arten	384	4.2.2.1 Modifikation durch Diffusion	492
3.2.2 Bauteilgestaltung	386	4.2.2.2 Modifikation unter Verwendung eines flüssigen Elektrolyten	493
3.2.3 FVK-Fertigungsverfahren	389	4.2.2.3 Modifikation unter Verwendung des schmelzflüssig oder gelöst vorliegenden Schichtwerkstoffs	498
3.2.3.1 Warmpressen	389	4.2.2.4 Beschichten aus der Gas- oder Dampfphase ..	506
3.2.3.2 Faserspritzen	391	4.2.3 Nachbehandlung	510
3.2.3.3 Handlaminieren	392	4.2.3.1 Reduzierung des gelösten Wasserstoffs	510
3.2.3.4 Resin Transfer Molding (RTM) (Harzinjektionsverfahren)	393	4.2.3.2 Konservieren	510
3.2.3.5 Vakuuminfusion	394	4.2.4 Entfernen von Schichten	511
3.2.3.6 Faserwickeln	395	4.2.5 Thermisches Entgraten (TEM)	512
3.2.3.7 Prepreg-Techniken	396	4.3 Montagetechnik	513
3.3 Produkte aus Keramik	397	4.3.1 Grundlagen	513
3.3.1 Einführung und geschichtliche Entwicklung	397	4.3.2 Der Materialfluss	516
3.3.2 Bautesteile aus Silikatkeramik	399	4.3.2.1 Lagern	516
3.3.2.1 Rohstoffe	399	4.3.2.2 Puffern	517
3.3.2.2 Aufbereitung	401	4.3.2.3 Bunkern	518
3.3.2.3 Formgebung	402	4.3.2.4 Magazinieren	519
3.3.2.4 Zwischenbearbeitung	402	4.3.2.5 Fördern	520
3.3.2.5 Sintern	403	4.3.3 Fügearbeiten	523
3.3.2.6 Oberflächenmodifikation	406	4.3.3.1 Fügestrukturen	523
3.3.3 Produkte aus Nichtsilikatkeramik	406	4.3.3.2 Fügeverfahren	523
3.3.3.1 Gewinnung der Rohstoffe	408	4.3.4 Montagearbeitsplätze	529
3.3.3.2 Aufbereitung	412	4.3.4.1 Manuelle Montage	529
3.3.3.3 Formgebung	415	4.3.4.2 Maschinelle Montage	532
3.3.3.4 Zwischenbearbeitung	418	4.3.4.3 Montage 4.0	533
3.3.3.5 Hochtemperaturbehandlung	420	4.3.5 Montageplanung	534
3.3.3.6 Endbearbeitung	427	5 Roboter im Fertigungsprozess	535
3.4 Produkte aus Silikatglas	428	5.1 Einführung zur Robotertechnik	535
3.4.1 Geschichte der Silikatgläser	428	5.2 Einteilung	536
3.4.2 Silikatgläser heute	430	5.3 Kinematischer Aufbau	537
3.4.3 Rohstoffe und Aufbereitung	431	5.4 Roboterprogrammierung	541
3.4.3.1 Rohstoffe	431	5.5 Koordinatensysteme	544
3.4.3.2 Aufbereitung	432	5.6 Robotersensorführung	545
3.4.4 Schmelzen und Raffinieren	433	5.7 Bearbeitungsaufgaben	547
3.4.4.1 Schmelzen	433	6 Laser in der Fertigungstechnik	549
3.4.4.2 Raffinieren	434	6.1 Grundlagen zur Lasertechnik	549
3.4.5 Urformgebung	434	6.1.1 Wichtige Laserarten zur Bearbeitung	549
3.4.5.1 Urformgebung unter Schwerkraft	435	6.1.2 Physikalische Grundlagen	550
3.4.5.2 Urformgebung unter Druckanwendung	436	6.1.3 Aufbau von Laserstrahlquellen	551
3.4.5.3 Temperung	438	6.1.4 Betriebs- und Wartungskosten	554
3.3.5.4 Urformen durch Pulvertecnologie	439	6.1.5 Strahlführung zum Bearbeitungsort	554
3.4.6 Spanlose Formgebung	439	6.1.5.1 Strahlführung mit Lichtleitkabel (LLK)	554
3.4.7 Spanabhebende Formgebung	440	6.1.5.2 Strahlführung als Freistahl	556
3.4.8 Fügen	440	6.1.5.3 Welding-on-the-fly	556
3.4.9 Oberflächenmodifikation	440	6.1.6 Strahlformung am Bearbeitungsort	557
4 Fügen, Modifizieren und Montieren	443	6.1.7 Strahlqualität	558
4.1 Stoffschlüssiges Fügen	443		
4.1.1 Fügetechniken in einer Übersicht	443		
4.1.2 Schweißen von Metallen	444		
4.1.2.1 Pressschweißverfahren	446		
4.1.2.2 Schmelzschweißverfahren	457		
4.1.2.3 Werkstoffkundliche Aspekte	468		

6.2 Werkstückbearbeitung	560	8.4.6.4 Messtaster mit Inkrementalmaßstab	641
6.2.1 Grundlagen	560	8.4.6.5 Feinzeiger	641
6.2.1.1 Fokussierung	560	8.3.6.6 Fühlhebelmessgeräte	642
6.2.1.2 Verschmutzungsschutz	561	8.4.6.7 Winkelmessgeräte	643
6.2.1.3 Absorption	562	8.4.6.8 Neigungsmessgeräte	643
6.2.2 Laseranwendungen	563	8.4.6.9 Autokollimationsfernrohr (AKF)	645
6.2.2.1 Laserschweißen	563	8.4.7 Längenmessgeräte	649
6.2.2.2 Laserschneiden	567	8.4.7.1 Induktive und kapazitive Messtaster	649
6.2.2.3 Laserbohren	569	8.4.7.2 Trägerfrequenzverstärker	652
6.2.2.4 Laserlöten	570	8.4.7.3 Pneumatische Wegaufnehmer	653
6.2.2.5 Laserbearbeiten von Diamantwerkzeugen	570	8.4.7.4 Optische Wegaufnehmer	653
6.2.2.6 Laserbeschriften und Laserstrukturieren	571	8.4.8 Messechnische Hilfsmittel	656
6.2.2.7 Laserhärtzen	572	8.4.9 Messgeräte	657
6.2.2.8 Laserbeschichten	572	8.4.9.1 Messmikroskop und Profilprojektor	657
7 Additive Fertigung (AM)	573	8.4.9.2 Komparator	659
7.1 Allgemeines	573	8.4.10 Mehrstellenmessgeräte	661
7.2 Ziele	573	8.4.11 Laserscanner	662
7.3 AM-Verfahren	576	8.4.12 Formmessgeräte	662
7.3.1 Stereolithographie ¹ (STL)	578	8.4.12.1 Formmessgeräte für runde Teile	663
7.3.2 Lasersintern (LS)	582	8.4.12.2 Geradheitsmessgeräte	664
7.3.3 Fused Layer Modeling (FLM)	587	8.5 Interferometrische Messverfahren	665
7.3.4 Material-Jetting und Binder-Jetting	588	Grundlagen	665
7.3.5 Bioplotter, Herstellung medizinischer Implantate	590	Aufbau von Interferometern zur Wegmessung	665
7.4 Rapid Manufacturing (RM)	591	Strahlungsquellen	667
Mess- und Prüftechnik		Einflüsse auf die Messunsicherheit	667
8 Fertigungsmesstechnik	593	Anwendungen der längenmessenden Interferometrie	668
8.1 Grundlagen der geometrischen Mess-technik	593	Kippwinkelmessung	669
8.1.1 Messabweichungen	595	Geradheitsmessung	669
8.1.1.1 Ordnung von Messabweichungen	596	Ebenheitsmessung	670
8.1.1.2 Messabweichungen durch geometrische Einflüsse	597	Formprüfung	670
8.1.1.3 Verformungen durch Eigengewicht, Messkraft, Spannkraft	602	8.6 Oberflächenmesstechnik	671
8.1.1.4 Temperatureinfluss	606	Mechanische Oberflächenmessung	671
8.1.1.5 Abweichungen durch Schwingungen	608	Berührungslose Oberflächenmessung	673
8.2 Die Geometrische Produktspezifikation (GPS)	610	Optische Oberflächenmesstechnik	673
8.2.1 Das Konzept zur Tolerierung von Bauteilen	610	Weißlichtinterferometer	673
8.2.2 GPS-Grundnormen	612	Streulichtmessungen	673
8.2.3 Elementare Grundsätze des GPS-System – Das Prinzip des „Aufrufens“	613	Rastersondenmikroskope	674
8.2.4 Maße und Ausgleichsgeometrien	615	Rasterkraftmikroskop (AFM – Atomic Force Microscope)	674
8.3 Maßverkörperungen	621	Rastertunnelmikroskop (STM – Scanning Tunnel Microscope)	675
8.3.1 Endmaße	621	Oberflächenkenngrößen	675
8.3.1.1 Parallelendmaße	621	8.7 Koordinatenmesstechnik	677
8.3.2 Maßstäbe und Drehgeber	623	Einführung	677
8.3.2.1 Strichmaße	623	Aufbau und Wirkungsweise	678
8.3.2.2 Inkrementalmaßstäbe	623	Bauarten	679
8.3.2.3 Absolutmaßstäbe	627	Messsysteme	679
8.4 Form- und Lagebestimmung	628	Zusatzausstattungen	682
8.4.1 Gerade	628	Steuerungen und Antriebe	683
8.4.2 Ebene	630	Messwertverarbeitung und Messwert-auswertung	683
8.4.2.1 Messplatten	630	Tastelementkalibrierung	686
8.4.2.2 Ebenheitsprüfung	631	Planung und Durchführung eines Messauf-trags	687
8.4.3 Kreis, Zylinder	632	Messprogrammerstellung	689
8.4.4 Winkelverkörperungen	633	8.8 Röntgen-Computertomographie (CT)	693
8.4.4.1 Rechter Winkel	633	Funktionsweise	693
8.4.4.2 Beliebige Winkel	634	Anlagentechnik	694
8.4.5 Lehren	635	Auflösung	696
8.4.6 Anzeigende Messgeräte	637	Anwendungen	697
8.4.6.1 Messschieber	637	8.9 Messen und Prüfen durch Bildverarbeitung	700
8.4.6.2 Messschrauben	638	Grundlagen	701
8.4.6.3 Messuhren	640	Szenenbeleuchtung	704
		2D-Bildverarbeitung	708
		3D-Bildaufnahme und Digitalisierung	713
		Laser-Trackingsysteme	716

9 Werkstoffprüfung	717	11.2	Qualifizierung von Industrierobotern	819
9.1 Einführung	717	11.2.1	Übersicht und Allgemeines	819
9.2 Chemische Zusammensetzung	718	11.2.2	Pose-Genauigkeit	820
9.3 Innere Werkstofftrennungen.....	721	11.2.3	Pose-Wiederholgenauigkeit	820
9.3.1 Penetrationsverfahren ¹	721	11.2.4	Lineargenauigkeit/Bahngenauigkeit	823
9.3.2 Wirbelstromverfahren	722	11.2.5	Formgenauigkeit/Ebenengenauigkeit	824
9.3.3 Streuflussverfahren.....	723	11.2.6	Dynamisches Bewegungsverhalten	825
9.3.4 Durchstrahlung	725	11.2.7	Positions-Stabilisierungszeit	826
9.3.5 Durchschallung	727	11.2.8	Statische Nachgiebigkeit	827
9.4 Härteprüfung	730		Weitere Merkmale	827
9.4.1 Quasistatische Eindringhärteprüfverfahren	731			
9.4.1.1 Härteprüfverfahren nach Brinell	732			
9.4.1.2 Härteprüfverfahren nach Vickers	736			
9.4.1.3 Härteprüfverfahren nach Rockwell	739			
9.4.2 Dynamische Härteprüfverfahren	742			
9.5 Gefüge.....	744			
9.5.1 Lichtmikroskopische Darstellung	744			
9.5.1.1 Probennahme	745			
9.5.1.2 Herstellung des Schliffs	746			
9.5.1.3 Gefügebewertung	748			
9.5.2 Elektronenmikroskopische Darstellung	749			
9.6 Mechanische Eigenschaften	751			
9.6.1 Zugversuch	751			
9.6.2 Druckversuch	758			
9.6.3 Torsionsversuch	760			
9.6.4 Kerbschlagbiegversuch	761			
9.6.5 Schwingfestigkeitsversuch	763			
9.6.6 Bruchmechanik	770			
9.6.7 Zeitstandversuch unter Zugbeanspruchung	775			
9.6.7.1 Schädigungsmechanismen	775			
9.6.7.2 Durchführung des Zeitstandversuchs	776			
10 Maschinen- und Bauteilverhalten	779			
10.1 Bauteilprüfung	779			
10.1.1 Kennwerte für Werkstoffe und Bauteile	779			
10.1.2 Nachweis der Betriebsfestigkeit gegenüber mechanischen Beanspruchungen	781			
10.1.2.1 Auswahl schwingbruchgefährdeter Querschnitte	781			
10.1.2.2 Experimentelle Beanspruchungsanalyse	781			
10.1.2.3 Datenaufbereitung und Zählerverfahren	783			
10.1.2.4 Festlegung der Versuchslasten	785			
10.1.2.5 Prüfstandsversuche	786			
10.1.2.6 Serienüberwachung und Qualitätskontrolle	788			
10.1.3 Innendruckprüfung	789			
10.1.3.1 Pulsationsform	789			
10.1.3.2 Prüfmedien	790			
10.1.3.3 Prüfeinrichtung	790			
10.1.3.4 Versuchsergebnisse	791			
10.1.4 Umweltprüfverfahren	793			
10.1.4.1 Vibrationsprüfungen und Schockprüfungen	793			
10.2 Schwingungen von Maschinen und Bauteilen	797			
10.2.1 Einführung	797			
10.2.2 Eigenfrequenzen und Eigenformen	798			
10.2.3 Modalanalyse	799			
10.2.3.1 Rechnerische Modalanalyse ¹	799			
10.2.3.2 Experimentelle Modalanalyse	800			
10.2.3.3 Beispiele zur Modalanalyse	803			
11 Qualifizierung von Maschinen	805			
11.1 Qualifizierung von Werkzeugmaschinen	805			
11.1.1 Einleitung und Übersicht	805			
11.1.2 Direkte Messungen der Maschineneigenschaften	806			
11.1.3 Abnahme- und Prüfwerkstücke	812			
11.1.4 Fähigkeitsuntersuchungen	816			
			Fachwörterbuch Deutsch–Englisch, Sachwortverzeichnis	870
			Quellenverzeichnis	895