

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einführung</b> .....	13
1.1.	Aufgabenstellung .....	14
1.2.	Inhalt der Fertigungstechnik .....	18
1.3.	Ergebnisse und deren Beurteilung .....	21
1.4.	Entwicklungstendenzen in der Fertigungstechnik .....	23
<b>2.</b>	<b>Urformen</b> .....	26
2.1.	Einleitung .....	26
2.1.1.	Begriffsbestimmungen .....	26
2.1.2.	Wirtschaftliche Bedeutung .....	27
2.2.	Überführen des Ausgangsstoffs in den urformbaren Zustand und Verfestigen des geformten Stoffs .....	27
2.2.1.	Stoffbindungskräfte .....	27
2.2.2.	Überführen von Metallen in den urformbaren Zustand und Verfestigen nach dem Formen .....	28
2.2.3.	Überführen von synthetischen Hochpolymeren in den urformbaren Zustand und Verfestigen nach dem Formen .....	30
2.2.4.	Volumenkontraktion beim Verfestigen des geformten Stoffs .....	31
2.2.5.	Lunker .....	33
2.2.6.	Eigenspannungen, Risse und Verwerfungen .....	35
2.2.7.	Thermodynamik der Abkühlvorgänge .....	36
2.3.	Formung .....	37
2.3.1.	Systematisierung .....	37
2.3.2.	Mechanische Formung .....	37
2.3.2.1.	Rheologische Grundlagen .....	37
2.3.2.2.	Formung durch Schwerkraftwirkung .....	42
2.3.2.3.	Formung durch Zentrifugalkraftwirkung .....	44
2.3.2.4.	Formung durch Kompression im aktiven Urformwerkzeug .....	46
2.3.2.5.	Formung durch äußeren Druck .....	47
2.3.2.6.	Formung durch innere Treibkräfte .....	50
2.3.2.7.	Formung durch atomare Wechselwirkungskräfte .....	50
2.3.2.8.	Kombinierte mechanische Wirkprinzipien .....	54
2.3.3.	Elektrische Formung .....	54
2.3.3.1.	Galvanische Formung .....	54
2.3.4.	Magnetische Formung .....	54
2.3.4.1.	Ferromagnetische Formung .....	54
2.4.	Urformwerkzeuge .....	55
2.4.1.	Einteilung .....	55
2.4.2.	Urformwerkzeuge für diskontinuierliche Wirkweise .....	56
2.4.2.1.	Aufbau und Funktion .....	56
2.4.2.2.	Fertigung .....	60
2.4.3.	Urformwerkzeuge für kontinuierliche Wirkweise .....	65

2.5.	Urformgerechtes Gestalten .....	66
2.5.1.	Gestaltung von Gußteilen .....	66
2.5.2.	Gestaltung von Pulvermetall-Preßteilen .....	66
<b>3.</b>	<b>Umformen und Zerteilen .....</b>	<b>71</b>
3.1.	Einleitung .....	71
3.2.	Kurzzeichen der Umform- und Zerteiltechnik .....	72
3.3.	Umformen .....	73
3.3.1.	Verfahrensunabhängige Grundlagen .....	73
3.3.1.1.	Spannungskenngrößen und -zustände .....	73
3.3.1.2.	Formänderungskenngrößen und -zustände .....	75
3.3.1.3.	Geschwindigkeitskenngrößen .....	76
3.3.1.4.	Gesetz der Volumenkonstanz .....	77
3.3.1.5.	Fließspannung und Fließkurve .....	78
3.3.1.6.	Berechnung des Kraft- und Arbeitsbedarfs .....	79
3.3.1.7.	Begleiterscheinungen beim Umformen .....	81
3.3.2.	Umformverfahren .....	83
3.3.2.1.	Einteilung der Umformverfahren .....	83
3.3.2.2.	Massivumformung .....	84
3.3.2.2.1.	Verfahren mit translatorischer Hauptbewegung .....	84
3.3.2.2.2.	Verfahren mit rotatorischer Hauptbewegung .....	95
3.3.2.3.	Blechumformung .....	99
3.3.2.4.	Umformende Feinbearbeitung .....	104
3.4.	Zerteilen .....	107
3.4.1.	Einteilung der Zerteilverfahren .....	107
3.4.2.	Scherschneiden .....	107
3.4.2.1.	Scherschneidvorgang .....	107
3.4.2.2.	Scherkraftberechnung .....	108
3.4.2.3.	Scherschneidverfahren .....	108
3.4.2.4.	Schnittteilgestaltung .....	110
3.5.	Zusammenfassung und Ausblick .....	110
<b>4.</b>	<b>Trennen .....</b>	<b>112</b>
4.1.	Einleitung .....	112
4.1.1.	Definition und Aufgabenstellung .....	112
4.1.2.	Kurzzeichen der Spanungs- und Abtragtechnik .....	112
4.2.	Spanen .....	113
4.2.1.	Spanbildung .....	113
4.2.1.1.	Spanarten .....	115
4.2.1.2.	Spanformen .....	115
4.2.1.2.1.	Spangrößen .....	116
4.2.2.	Einflußgrößen auf den Spannungsvorgang .....	116
4.2.2.1.	Spanbarkeit .....	117
4.2.3.	Verfahrensunabhängige Grundlagen und Begriffe .....	117
4.2.3.1.	Bewegungen und Geometrie des Spannungsvorgangs .....	120
4.2.3.2.	Kräfte und Leistungen .....	120
4.2.3.2.1.	Spezifische Schnittkraft .....	121
4.2.3.2.2.	Spanungsleistung .....	122
4.2.3.2.3.	Verwendung .....	123
4.2.3.3.	Schneidwerkstoffe .....	123
4.2.3.4.	Werkzeugverschleiß .....	129
4.2.3.4.1.	Standvermögen .....	130

4.2.3.4.2.	Standkriterien .....	131
4.2.4.	Drehen, Hobeln, Stoßen .....	132
4.2.4.1.	Verfahrensvarianten Drehen .....	134
4.2.4.2.	Verfahrensgerechte Formelementgestaltung .....	136
4.2.5.	Bohren, Senken, Reiben .....	137
4.2.5.1.	Kräfte und Leistungen .....	138
4.2.5.2.	Verfahrensgerechte Formelementgestaltung .....	139
4.2.6.	Räumen .....	140
4.2.6.1.	Kräfte und Leistungen .....	141
4.2.7.	Fräsen .....	141
4.2.7.1.	Leistungsberechnung .....	143
4.2.7.2.	Wälzfräsen .....	144
4.2.7.3.	Verfahrensgerechte Formelementgestaltung .....	146
4.2.8.	Schleifen .....	146
4.2.8.1.	Leistungsberechnung .....	147
4.2.8.2.	Schleifwerkzeug .....	148
4.2.8.3.	Verfahrensgerechte Formelementgestaltung .....	149
4.2.9.	Verfahrenstendenzen .....	151
4.3.	Abtragen .....	151
4.3.1.	Thermisches Abtragen .....	153
4.3.1.1.	Elektroerosives Abtragen .....	153
4.3.1.1.1.	Anwendungsgebiet .....	154
4.3.1.2.	Thermoenergetisches Abtragen .....	155
4.3.1.2.1.	Plasmastrahlbearbeitung .....	155
4.3.1.2.2.	Laserstrahlbearbeitung .....	156
4.3.1.2.3.	Elektronenstrahlbearbeitung .....	157
4.3.2.	Chemisches Abtragen .....	157
4.3.2.1.	Elektrochemisches Abtragen .....	157
4.3.2.1.1.	Leistungsberechnung .....	158
4.3.2.1.2.	Technische Anwendung .....	158
4.3.3.	Einschätzung und Ausblick .....	159
5.	<b>Fügen</b> .....	160
5.1.	Einleitung .....	160
5.1.1.	Fügeverfahrensübersicht .....	160
5.1.2.	Aufgabenstellung .....	160
5.1.3.	Anforderungen an die Fügestellen .....	161
5.1.4.	Verfahrenseinteilung nach der Art der Verbindung .....	162
5.1.5.	Verfahrenseinteilung nach dem Verbindungsmechanismus .....	162
5.1.6.	Gruppierung der Fügeverfahren nach dem Wirkprinzip .....	163
5.1.7.	Übersicht über die in der Schweißtechnik genutzten Wirkprinzipien .....	163
5.1.8.	Wirtschaftliche Bedeutung der Fertigungsverfahrengruppe Fügen .....	165
5.2.	Verfahrenstechnische Realisierung der Wirkprinzipien .....	166
5.2.1.	Fügen durch An- und Einpressen .....	166
5.2.1.1.	Fügen durch Keilen und Stiften .....	166
5.2.1.2.	Schraubverbindungen .....	167
5.2.2.	Fügen durch Umformen .....	169
5.2.2.1.	Falzen .....	169
5.2.2.2.	Nieten .....	169
5.2.3.	Fügen durch Stoffverbinden .....	172
5.2.3.1.	Fügen durch Kleben .....	172
5.2.3.2.	Schweißen von Platten .....	175
5.2.3.2.1.	Verfahrensübersicht .....	175

5.2.3.2.2.	Heißgasschweißen	176
5.2.3.2.3.	Heizelementschiweißen	177
5.2.3.2.4.	Abschmelzschweißen	177
5.2.3.3.	Löten	178
5.2.3.3.1.	Begriffe und Einteilung der Lötverfahren	178
5.2.3.3.2.	Beispiele repräsentativer mechanisierter Lötverfahren	179
5.2.3.3.3.	Standardisierte Lote und Flußmittel	182
5.2.3.3.4.	Lötgerechtes Gestalten von Fugestellen	183
5.2.3.4.	Schmelzschweißen	185
5.2.3.4.1.	Begriffe und Einteilung der Schmelzschweißverfahren	185
5.2.3.4.2.	Beschreibung ausgewählter Schmelzschweißverfahren	186
5.2.3.4.3.	Wirtschaftliche Bedeutung der Schmelzschweißverfahren und Entwicklungstendenzen	196
5.2.3.5.	Preßschweißen	196
5.2.3.5.1.	Verfahrensübersicht	196
5.2.3.5.2.	Elektrisches Widerstandsschweißen	197
5.2.3.5.3.	Entwicklungstendenzen des Preßschweißens	203
5.2.4.	Thermisches Schneiden von Metallen	203
5.2.4.1.	Begriffe	203
5.2.4.2.	Brennschneiden	204
5.2.4.2.1.	Bedingungen zum Brennschneiden	204
5.2.4.2.2.	Vorgänge beim Brennschneiden	204
5.2.4.2.3.	Betriebsstoffe	205
5.2.4.2.4.	Geräte und Einrichtungen zum Brennschneiden	205
5.2.4.3.	Plasmaschneiden	207
5.2.4.3.1.	Technik des Plasmaschneidens	207
5.2.4.3.2.	Schneiden von Aluminium und Stahl	208
5.3.	Schweiß- und fertigungsgerechte Gestaltung von Erzeugnissen	209
5.3.1.	Vorbereitung der Fugestelle	209
5.3.2.	Grundsätzliche Betrachtung zur Gestaltung geschweißter Konstruktionen	211
5.3.3.	Lösungsschritte in der technologischen Fertigungsvorbereitung bei gefügten Erzeugnissen	215
5.4.	Auswirkungen des Fügens	216
5.4.1.	Form- und Maßhaltigkeit	216
5.4.2.	Schrumpfungsarten	216
5.4.3.	Schrumpfspannungen	217
5.4.4.	Maßnahmen gegen Schrumpfungen und Schrumpfspannungen	217
5.5.	Zusammenfassung und Ausblick	218
6.	<b>Beschichten (Oberflächenschutztechnik)</b>	219
6.1.	Einleitung	219
6.2.	Begriffe	219
6.3.	Einteilung und Kennzeichnung der Schutzschichten	220
6.4.	Beschichtungsverfahren	227
6.4.1.	Anforderungen an zu beschichtende Substratoberflächen	227
6.4.2.	Einteilung und Charakterisierung ausgewählter Beschichtungsverfahren	232
6.4.3.	Anwendung von Beschichtungsverfahren	248
7.	<b>Wärmebehandlung</b>	251
7.1.	Einleitung	251

7.2.	Grundlagen der Wärmebehandlung .....	252
7.2.1.	Metallkundliche Grundlagen .....	252
7.2.2.	Technologische Grundlagen .....	254
7.3.	Thermische Verfahren der Wärmebehandlung .....	256
7.3.1.	Glühverfahren .....	256
7.3.1.1.	Normalglühen .....	256
7.3.1.2.	Perlitglühen .....	258
7.3.1.3.	Weichglühen .....	258
7.3.1.4.	Grobkornglühen .....	259
7.3.1.5.	Spannungsarmglühen .....	259
7.3.1.6.	Rekristallisationsglühen .....	260
7.3.2.	Härten und Anlassen .....	260
7.3.2.1.	Härteverfahren .....	262
7.3.2.2.	Anlassen und Vergüten .....	263
7.3.3.	Oberflächenhärten .....	264
7.3.3.1.	Flammhärten .....	265
7.3.3.2.	Induktionshärten .....	266
7.4.	Chemisch-thermische Verfahren der Wärmebehandlung .....	267
7.4.1.	Einsatzhärten .....	267
7.4.1.1.	Aufkohlen .....	268
7.4.1.2.	Härteverfahren nach dem Aufkohlen .....	270
7.4.2.	Nitrieren .....	272
7.4.3.	Karbonitrieren .....	274
7.5.	Zusammenfassung .....	274
<b>8.</b>	<b>Gestaltung von Fertigungsprozessen .....</b>	<b>275</b>
8.1.	Regeln und Vorgehensweise .....	275
8.1.1.	Prinzipielle Schritte und Folgerichtigkeit der Gestaltung von Fertigungsprozessen .....	275
8.1.2.	Technologische Fertigungsunterlagen (TFU) und Einflußfaktoren auf den Umfang und die Tiefe der technologischen Vorbereitung von Fertigungsprozessen .....	278
8.1.3.	Untergliederung des Fertigungsprozesses .....	282
8.1.4.	Gestaltung von Fertigungsprozessen für Einzelteile .....	283
8.1.4.1.	Vorgehensweise .....	283
8.1.4.2.	Konstruktionsüberprüfung .....	286
8.1.4.3.	Rohteilbestimmung .....	287
8.1.4.4.	Arbeitsfolge .....	288
8.1.4.5.	Exemplarische Erörterung einiger Arbeitsschritte zur detaillierten Ausarbeitung von Arbeitsgängen .....	291
8.1.4.6.	Beispiel .....	294
8.2.	Vereinheitlichung von Fertigungsprozessen .....	297
8.2.1.	Zielstellung und prinzipielle Lösungsmöglichkeiten .....	297
8.2.2.	Analyse und Klassifizierung von Einzelteilen und Baugruppen .....	298
8.2.3.	Typung von Fertigungsprozessen .....	301
8.2.3.1.	Begriffsbestimmung .....	301
8.2.3.2.	Typ-Arbeitspläne .....	302
8.2.4.	Gruppenbearbeitung .....	303
8.2.4.1.	Begriffsbestimmung .....	303
8.2.4.2.	Arten der Gruppenbearbeitung .....	303
8.2.4.3.	Bildung von Komplettteilen .....	303
8.2.4.4.	Gruppenbearbeitung bei verschiedenen Fertigungsverfahren .....	304

8.3.	Rationalisierung der technologischen Fertigungsvorbereitung .....	305
8.3.1.	Notwendigkeit und Zielstellung .....	305
8.3.2.	CAD/CAM-Konzept Fertigungsvorbereitung .....	306
8.3.2.1.	Systemaufbau .....	306
8.3.2.2.	Teilsystem technologische Fertigungsvorbereitung .....	306
8.3.2.3.	Dialogschnittstellen .....	309
8.3.2.4.	Periphere CAD/CAM-Komponenten .....	309
8.3.3.	Entwicklung von Algorithmen und Programmen .....	311
8.3.4.	Fertigungsvorbereitung für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen	313
8.3.4.1.	Manuelle Programmierung .....	313
8.3.4.2.	Maschinelle Programmierung .....	314
8.3.4.3.	CAD/CAM-integrierte Programmierung .....	317
8.3.5.	Fertigungsintegrierte Programmerarbeitung und -verwaltung .....	318
8.3.6.	Technologenarbeitsplätze .....	320
8.4.	Organisationsformen der Fertigung .....	320
8.4.1.	Bedeutung, Inhalt und Gliederung der Organisationsformen .....	320
8.4.2.	Losfertigung .....	321
8.4.2.1.	Werkstattprinzip .....	321
8.4.2.2.	Erzeugnisprinzip .....	322
8.4.3.	Fließfertigung .....	322
8.4.3.1.	Begriffsbestimmung .....	322
8.4.3.2.	Formen der Fließfertigung .....	322
8.4.3.3.	Voraussetzungen, Vor- und Nachteile .....	323
8.4.3.4.	Taktzeitermittlung .....	323
8.5.	Montageprozeßgestaltung .....	324
8.5.1.	Stellung der Montage im Produktionsprozeß .....	324
8.5.2.	Gliederung des Montageprozesses .....	325
8.5.3.	Gestalten von Montageprozessen .....	327
8.5.4.	Organisationsformen in der Montage .....	328
8.5.5.	Mechanisierung und Automatisierung der Montage .....	332
9.	Literaturverzeichnis .....	335
10.	Sachwörterverzeichnis .....	342