

Handbuch der Fertigungstechnik

Herausgegeben

von Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Günter Spur
und Prof. Dr.-Ing. Theodor Stöferle t

Band 1 Urformen

Band 2 Umformen und Zerteilen (in drei Teilbänden)

Band 3 Spanen (in zwei Teilbänden)

Band 4 Abtragen, Beschichten und Wärmebehandeln

Band 5 Fügen, Handhaben und Montieren

Band 6 Fabrikbetrieb

Carl Hanser Verlag München Wien

Handbuch der Fertigungstechnik

Band 5

Fügen, Handhaben und Montieren

Herausgegeben

von Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Günter Spur

Mit 747 Bildern und 144 Tabellen

Carl Hanser Verlag München Wien

Inhalt

Einführung in die Füge-, Handhabungs- und Montagetechnik	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Begriffe und Benennungen	5
1.3 Geschichtliche Entwicklung	7
Literatur zu Kapitel 1	13
Fügen	15
2.1 Grundlagen der Fügetechnik	15
2.1.1 Allgemeines und Grundbegriffe	15
2.1.2 Einteilung der Fügeverfahren	16
Literatur zu Abschnitt 2.1	19
2.2 Fügen durch Zusammensetzen	19
2.2.1 Allgemeines	19
2.2.2 Auflegen, Aufsetzen, Schichten	24
2.2.3 Einlegen	28
2.2.4 Ineinanderschieben, Einführen	30
2.2.5 Einhängen	32
2.2.6 Einrenken	34
2.2.7 Federnd Einspreizen	35
Literatur zu Abschnitt 2.2	41
2.3 Fügen durch An- und Einpressen	43
2.3.1 Allgemeines	43
2.3.2 Schraubverbindungen	44
2.3.2.1 Grundlagen	44
2.3.2.2 Verbinden mit selbstformenden Gewinden	45
2.3.2.3 Vollbelastbare Schraubverbindungen	48
2.3.2.3.1 Randbedingungen und Rechenverfahren	48
2.3.2.3.2 Bestimmungsgrößen	49
2.3.2.3.3 Sichern von Schraubverbindungen	54
2.3.2.4 Zusammenbauverfahren	55
2.3.2.5 Automatisieren von Schraubvorgängen	58
2.3.2.5.1 Allgemeines	58
2.3.2.5.2 Bestimmungsgrößen	59
2.3.2.5.3 Kennzeichen automatisierter Schraubsysteme	60
2.3.2.6 Wirtschaftlichkeit	61
2.3.3 Verstiften, Nageln	62
2.3.4 Preßverbindungen	64
2.3.4.1 Allgemeines	64
2.3.4.2 Elastische Preßverbindungen	64
2.3.4.3 Elastisch-plastische Preßverbände	65
2.3.4.3.1 Grundlagen	65
2.3.4.3.2 Rechengang für vorgegebenen Fugendruck	66
2.3.4.3.3 Rechengang für vorgegebenes Übermaß	67
2.3.4.4 Haftbeiwerte von Preßverbindungen	68
2.3.4.5 Fügen von Preßverbindungen	70
2.3.4.5.1 Allgemeines	70
2.3.4.5.2 Längspreßverbindungen	70
2.3.4.5.3 Querspreßverbindungen	70
2.3.4.6 Gestaltung von Preßverbindungen	72
2.3.4.6.1 Allgemeine Gestaltungsrichtlinien	72

Inhalt

2.3.4.6.2	Gestaltungsrichtlinien für schwingend beanspruchte Preßverbindungen	72
2.3.5	Verkeilen, Verspannen	73
	Literatur zu Abschnitt 2.3.	75
2.4	Fügen durch Umformen	78
2.4.1	Allgemeines	78
2.4.2	Fügen durch Umformen drahtförmiger Körper.	78
2.4.2.1	Drahtflechten, Drahtweben	78
2.4.2.2	Verseilen	86
2.4.2.2.1	Grundlagen	86
2.4.2.2.2	Kabel- und Verseilmaschinen	92
2.4.2.2.3	Wickeln	97
2.4.2.3	Spleißen	99
2.4.3	Fügen durch Umformen bei Blech-, Rohr- und Profilverteilen	105
2.4.3.1	Kerben, Körnen	105
2.4.3.2	Weiten	106
2.4.3.3	Engen	109
2.4.3.4	Bördeln	113
2.4.3.5	Falzen	116
2.4.3.6	Wickeln	119
2.4.3.7	Verlappen	119
2.4.3.8	Umformendes Einspreizen	125
2.4.4	Fügen durch Nietverfahren	128
2.4.4.1	Grundlagen	128
2.4.4.2	Einbau von Vollnieten	129
2.4.4.3	Einbau von Hohl- oder Blindnieten	131
2.4.4.4	Einbau von Paßnieten	134
2.4.4.5	Nietmaschinen	135
	Literatur zu Abschnitt 2.4.	138
2.5	Fügen durch Schweißen	143
2.5.1	Einführung	143
2.5.1.1	Einteilung der Schweißverfahren	143
2.5.1.2	Stand der schweißtechnischen Anwendung	148
2.5.1.3	Entwicklung der Schweißverfahren	150
2.5.1.4	Entwicklungstendenzen von Schweißsystemen	151
2.5.2	Randbedingungen des Fügens durch Schweißen	153
2.5.2.1	Schweißnahtvorbereitung, Fugenformen	153
2.5.2.2	Schweißzusätze und Schweißhilfsstoffe	153
2.5.2.3	Schweißbarkeit, Schweißeignung, Schweißmöglichkeit und Schweißsicherheit	157
2.5.2.4	Gütesicherung von Schweißarbeiten	159
2.5.3	Werkstofftechnische Grundlagen der Schweißtechnik	161
2.5.3.1	Einführung	161
2.5.3.2	Beeinflussung von Werkstoffeigenschaften	162
2.5.3.2.1	Metallurgische Vorgänge in Schmelze und Wärmeeinflußzone	162
2.5.3.2.2	Aufnahme von Gasen durch die Schmelze	164
2.5.3.2.3	Unterdrückung von Gleichgewichtszuständen beim Abkühlen	166
2.5.3.2.4	Vorgänge in kaltverfestigten Werkstoffen	168
2.5.3.2.5	Reaktionen zwischen Metall und Schlacke oder Gas	171

2.5.3.2.6	Entstehen von interkristalliner Korrosion und Versprödung	174
2.5.3.2.7	Einfluß niedrigschmelzender Substanzen.	176
2.5.3.2.8	Verschweißen unterschiedlicher Metalle	178
2.5.3.2.9	Vorgänge in ausgehärteten Werkstoffen.	179
2.5.3.3	Beeinflussung der Werkstückgeometrie.	180
2.5.3.4	Auswirkungen werkstoffmechanischer Vorgänge auf die Festigkeit von Schweißverbindungen.	184
2.5.4	Schweißgerechtes Konstruieren.	187
2.5.4.1	Allgemeine Gestaltungsregeln.	187
2.5.4.2	Stoffgerechte Gestaltung.	190
2.5.4.3	Fertigungsgerechte Gestaltung.	191
2.5.4.4	Beanspruchungsgerechte Gestaltung.	194
2.5.5	Einrichtung von Schweißwerkstätten.	198
2.5.5.1	Bestimmungsgrößen der Einrichtung.	198
2.5.5.1.1	Allgemeines.	198
2.5.5.1.2	Konstruktionsbedingte Einflüsse.	199
2.5.5.1.3	Vorschriften und Gesetze.	201
2.5.5.1.4	Einflüsse von Schadstoff- und Lärmemissionen.	203
2.5.5.1.5	Layout der Schweißwerkstatt.	206
2.5.5.2	Einsatzbedingungen von Preßschweißanlagen.	206
2.5.5.3	Werkstätten für das Schmelzschiessen.	210
2.5.5.3.1	Allgemeines.	210
2.5.5.3.2	Lagern.	213
2.5.5.3.3	Trennen.	214
2.5.5.3.4	Entgraten.	222
2.5.5.3.5	Umformen.	223
2.5.5.4	Auswahl von Verfahren und Maschinen.	225
2.5.5.4.1	Auswahl des Schweißverfahrens.	225
2.5.5.4.2	Schweißgeräte zum Schmelzschiessen.	227
2.5.5.4.3	HilfsVorrichtungen zum Schweißen.	230
2.5.5.4.4	Schweißen mit Robotern.	233
2.5.5.5	Nachbehandlung von Schweißteilen.	235
2.5.5.5.1	Einrichtungen zum Glühen und Wärmen.	235
2.5.5.5.2	Oberflächenbehandlung, Oberflächenschmutz.	237
2.5.5.6	Infrastruktur von Schweißwerkstätten.	238
2.5.5.6.1	Einrichtungen für die Gütesicherung.	238
2.5.5.6.2	Energieversorgung von Schweißwerkstätten.	239
2.5.5.6.3	Transportmittel.	241
2.5.6	Schmelzschiessen.	243
2.5.6.1	Gasschmelzschiessen.	243
2.5.6.1.1	Beschreibung des Verfahrens.	243
2.5.6.1.2	Acetylen-Sauerstoff-Flamme.	244
2.5.6.1.3	Gasversorgung.	244
2.5.6.1.4	Geräte.	245
2.5.6.1.5	Anwendung.	248
2.5.6.1.6	Leistung und Kosten.	252
2.5.6.1.7	Personal.	254
2.5.6.1.8	Arbeitsschutz.	254
2.5.6.2	Lichtbogeaschmelzschiessen.	255
2.5.6.2.1	/Grundlagen.	255
2.5.6.2.2'	Metall-Lichtbogenschweißen.	258

	2.5.6.2.3	Unterpulverschweißen	263
	2.5.6.2.4	Schutzgasschweißen	268
	2.5.6.3	Elektroschlackeschweißen	288
	2.5.6.4	Strahlschweißen	289
	2.5.6.4.1	Elektronenstrahlschweißen	289
	2.5.6.4.2	Laserstrahlschweißen	293
	2.5.6.5	Gießschmelzschweißen	296
2.5.7		Preßschweißen	297
	2.5.7.1	Widerstandspreßschweißen	297
	2.5.7.1.1	Grundlagen	297
	2.5.7.1.2	<u>Punktschweißen</u>	300
	2.5.7.1.3	Buckelschweißen	307
	2.5.7.1.4	Rollennahtschweißen	312
	2.5.7.1.5	Stumpfschweißen	316
	2.5.7.1.6	Induktives Widerstandsschweißen	320
	2.5.7.2	<u>Bplzenschweißgn</u> •	320
	2.5.7.3	Gaspreßschweißen	323
	2.5.7.4	Reibschweißen	325
	2.5.7.5	Ultraschallschweißen	331
	2.5.7.6	Kaltpreßschweißen	340
	2.5.7.6.1	Grundlagen	340
	2.5.7.6.2	Kaltpreßstumpfschweißen	340
	2.5.7.6.3	Überlappschweißen	342
	2.5.7.6.4	Fließpreßschweißen	342
	2.5.7.6.5	Durchführung des Kaltpreßschweißens	348
	2.5.7.7	Laserstrahl-Preßschweißen	349
	2.5.7.8	Diffusionsschweißen	352
2.5.8		Arbeitsvorschriften und Qualitätssicherung	355
	2.5.8.1	Allgemeines	355
	2.5.8.2	Gütesicherte Schweißarbeiten	356
	2.5.8.2.1	Grundlagen	356
	2.5.8.2.2	Anforderungen an Betrieb und Personal	357
	2.5.8.2.3	Gütesicherung von Schweißarbeiten in verschiedenen Anwendungsbereichen	364
2.5.9		Schweißpläne	370
	2.5.9.1	Allgemeines	370
	2.5.9.2	Werkstoffbedingte Schweißpläne	370
	2.5.9.3	Schweißfolgepläne	370
2.5.10		Wirtschaftliches Schweißen durch Mechanisierung und Automatisierung	372
	2.5.10.1	Allgemeines	372
	2.5.10.2	Möglichkeiten der Mechanisierung und Automatisierung in der Schweißtechnik	375
	2.5.10.3	Schweißvorrichtungen und Einrichtungen für das Mechanisieren	381
	2.5.10.4	Einzweckschweißeinrichtungen	386
	2.5.10.5	Flexible Schweißsysteme	388
	2.5.10.6	Verfahrensauswahl, Kosten, Wirtschaftlichkeit	390
		Literatur zu Abschnitt 2.5	397
2.6		Fügen durch Löten	408
	2.6.1	Einführung in die Löttechnik	408
	2.6.2	Grundlagen	411
	2.6.3	Lötgerechtes Konstruieren	414

2.6.4	Löteinrichtungen	418
2.6.4.1	Übersicht	418
2.6.4.2	Lötöfen	420
2.6.4.2.1	Bauformen	420
2.6.4.2.2	Lötatmosphären	423
2.6.5	Weichlöten	430
2.6.5.1	Allgemeines	430
2.6.5.2	Lote und Flußmittel	430
2.6.5.3	Verfahren	434
2.6.6	Hartlöten	435
2.6.6.1	Allgemeines	435
2.6.6.2	Lote	436
2.6.6.3	Flußmittel	442
2.6.7	Hochtemperaturlöten	443
2.6.7.1	Allgemeines	443
2.6.7.2	Lote	446
2.6.7.3	Löten von Sondermetallen	453
2.6.7.4	Löten von Keramiken	455
2.6.8	Qualitätsprüfung an Lötverbindungen	456
2.6.9	Wirtschaftlichkeit des Lötens	460
	Literatur zu Abschnitt 2.6	462
2.7	Fügen durch Kleben	467
2.7.1	Einführung in die Klebtechnik	467
2.7.2	Grundlagen der Adhäsion	468
2.7.3	Anforderungen an Klebstoffe	470
2.7.4	Konstruieren und Berechnen von Klebverbindungen	472
2.7.4.1	Konstruktionsrichtlinien	472
2.7.4.2	Berechnung von Klebverbindungen	474
2.7.5	Oberflächenvorbehandlung	478
2.7.6	Physikalisch härtende Klebstoffe und ihre Anwendung	480
2.7.6.1	Allgemeines	480
2.7.6.2	Kleblösungen	480
2.7.6.3	Kontaktklebstoffe und Klebdispersionen	481
2.7.6.4	Schmelzklebstoffe	482
2.7.6.5	Heißsiegelklebstoffe	483
2.7.6.6	Plastisolklebstoffe	483
2.7.7	Chemisch härtende Klebstoffe und ihre Anwendung	485
2.7.7.1	Allgemeines	485
2.7.7.2	Kleben mit Polymerisaten und Polyaddukten	485
2.7.7.2.1	Einkomponentenklebstoffe mit Energiezufuhr	485
2.7.7.2.2	Härtung unter Luftabschluß	487
2.7.7.2.3	Härtung durch Feuchte- und Metallkontakt	488
2.7.7.2.4	Härtung mit Aktivator	488
2.7.7.3	Mehrkomponentenklebstoffe	489
2.7.8	Sonstige Klebstoffe	491
2.7.8.1	Modifizierte Klebstoffe	491
2.7.8.2	Haftklebstoffe	492
2.7.8.3	Anorganische Klebstoffe	492
2.7.9	Qualitätssicherung beim Kleben	493
2.7.10	Planung von Klebearbeiten	494
	Literatur zu Abschnitt 2.7	497

3	Handhaben	499
3.1	Einführung in die Handhabungstechnik	499
3.1.1	Grundlagen	499
3.1.2	Teilfunktionen des Handhabens	500
3.1.3	Handhabungsgerechte Werkstückgestaltung	507
	Literatur zu Abschnitt 3.1	508
3.2	Funktionsträger der Werkstückhandhabung	509
3.2.1	Einführung	509
3.2.2	Speichersysteme	511
3.2.2.1	Allgemeines	511
3.2.2.2	Bunker	512
3.2.2.3	Magazine	514
3.2.2.4	Auswahl von Speichereinrichtungen	517
3.2.3	Ordnungssysteme	517
3.2.3.1	Schwingzuführungen	517
3.2.3.1.1	Allgemeines	517
3.2.3.1.2	Geräteaufbau	519
3.2.3.1.3	Funktion	525
3.2.3.1.4	Beeinflussung des Förderverhaltens	531
3.2.3.1.5	Ausblick	533
3.2.3.2	Entwirrgeräte	534
3.2.3.2.1	Allgemeines	534
3.2.3.2.2	Bauformen	536
3.2.3.2.3	Beeinflussung des Entwirrprozesses	538
3.2.4	Bewegungssysteme	539
3.2.4.1	Übersicht	539
3.2.4.2	Kontinuierlich arbeitende Systeme	541
3.2.4.3	Einlegegeräte	544
3.2.4.3.1	Teilsysteme	544
3.2.4.3.2	Kenndaten	556
3.2.4.4	Maschinenbeschickung mit Industrierobotern	559
3.2.4.4.1	Allgemeines	559
3.2.4.4.2	Standgeräte	560
3.2.4.4.3	Portalgeräte	573
3.2.4.4.4	Anbaugeräte	581
3.2.4.5	Greifersysteme	583
	Literatur zu Abschnitt 3.2	588
4	Montieren	591
4.1	Einführung in die Montagetechnik	591
4.1.1	Grundlagen	591
4.1.2	Montagesysteme	593
4.1.2.1	Allgemeines	593
4.1.2.2	Einteilung	594
4.1.3	Montagegerechte Produktgestaltung	600
4.1.3.1	Allgemeines	600
4.1.3.2	Maßnahmen	601
4.1.3.3	Gestaltungshilfen	605
	Literatur zu Abschnitt 4.1	605
4.2	Ablauf der Montage	607
4.2.1	Grundlagen	607
4.2.2	Planung von Montageabläufen	608
4.2.2.1	Planungsbereiche	608

4.2.2.2	Vorgehensweise bei der Montageablaufplanung	609
4.2.2.3	Erstellung der Montageablaufstruktur	610
4.2.2.4	Ermittlung der Montagezeiten, Kapazitätssteigerungsplanung	611
4.2.3	Steuerung von Montageabläufen	615
4.2.3.1	Allgemeines	615
4.2.3.2	Planungsaufgaben	616
4.2.3.3	Überwachungsaufgaben	618
4.2.3.4	Werkstattsteuerungsaufgaben	618
4.2.4	Organisationsformen für die Steuerung	619
	Literatur zu Abschnitt 4.2	619
4.3	Manuelle Montagesysteme	620
4.3.1	Allgemeines	620
4.3.2	Gestaltung manueller Montagesysteme	623
4.3.2.1	Übersicht	623
4.3.2.2	Technologische Gestaltung	625
4.3.2.3	Organisatorische Gestaltung	628
4.3.2.3.1	Festlegung der Arbeitsinhalte und der Arbeitsstruktur	628
4.3.2.3.2	Kopplung von Montageplätzen	632
4.3.2.4	Ergonomische Gestaltung	642
4.3.2.4.1	Allgemeines	642
4.3.2.4.2	Biomechanische Aspekte	643
4.3.2.4.3	Bewegungstechnische Aspekte	662
4.3.2.4.4	Informationstechnische Aspekte	668
4.3.3	Unterschiede und Veränderungen arbeitspersonenbezogener Eigenschaften bei Montagetarbeiten	672
4.3.3.1	Allgemeines	672
4.3.3.2	Auswahl und Unterweisung	672
4.3.3.3	Übung und Training	674
4.3.3.4	Ermüdung und Erholung	675
	Literatur zu Abschnitt 4.3	679
4.4	Maschinelle Montagesysteme	683
4.4.1	Bauformen maschineller Montagesysteme	683
4.4.2	Automatisierung von Montagesystemen	687
4.4.3	Steuern maschineller Montagesysteme	693
4.4.3.1	Allgemeines	693
4.4.3.2	Steuerungsaufgaben	693
4.4.3.3	Steuergeräte und Programmierung	694
4.4.3.4	Signal-, Stell- und Antriebsglieder	697
4.4.3.5	Steuerungsstrukturen	698
4.4.4	Prüfen in der maschinellen Montage	698
4.4.4.1	Allgemeines	698
4.4.4.2	Prüfbedarfsermittlung	699
4.4.4.3	Sensoren für Prüf- und Überwachungsaufgaben	701
4.4.4.4	Sicherung der Montagequalität bei Schraubverbindungen	706
4.4.4.5	Beispiele integrierter Prüfungen	709
4.4.4.5.1	Montage von Autoradio-Kassettenlaufwerken	709
4.4.4.5.2	Montage von Hinterradbremzen	711
4.4.5	Möglichkeiten der Realisierung maschineller Montagesysteme	713
4.4.5.1	Maschinelle Montage in der feinwerk- und elektrotechnischen Industrie	713
4.4.5.2	Maschinelle Leiterplattenmontage	720
4.4.5.2.1	Allgemeines	720

4.4.5.2.2	Bestückverfahren für bedrahtete Bauelemente	722
4.4.5.2.3	Bestückverfahren für unbedrahtete Bauelemente	725
4.4.5.2.4	Ablauf der Leiterplattenbestückung	728
4.4.5.3	Industrierobotergeführtes Schweißen im Kraftfahrzeugbau	729
4.4.5.3.1	Allgemeines	729
4.4.5.3.2	Gründe der Automatisierung mit Industrierobotern	730
4.4.5.3.3	Schweißaufgaben	733
4.4.5.3.4	Anforderungen an Industrieroboter	737
4.4.5.3.5	Einsatzplanung für Punktschweißaufgaben	740
4.4.5.3.6	Einsatzplanung für Lichtbogenschweißaufgaben	755
4.4.5.3.7	Zuverlässigkeit und Instandhaltung	757
4.4.5.4	Maschinelle Montage in der Hausgeräteindustrie	760
4.4.5.4.1	Allgemeines	760
4.4.5.4.2	Voraussetzung und Planung	761
4.4.5.4.3	Beispiele maschineller Montagesysteme	762
4.4.5.4.4	Beispiele realisierter Industrieroboteranwendungen	765
	Literatur zu Abschnitt 4.4	769
4.5	Zuverlässigkeit von Montagesystemen	773
4.5.1	Einführung	773
4.5.2	Betriebsverhalten von Montagesystemen	774
4.5.2.1	Kenngößen	774
4.5.2.2	Einflußgrößen	777
4.5.2.3	Störungserfassung und Schwachstellenanalyse	781
4.5.2.4	Betriebsergebnisse	786
4.5.3	Möglichkeiten zur Steigerung der Verfügbarkeit	789
	Literatur zu Abschnitt 4.5	791
4.6	Wirtschaftlichkeit von Montagesystemen	793
	Literatur zu Abschnitt 4.6	799
	Nachweis der Bilder	801
	Sachwortregister	804