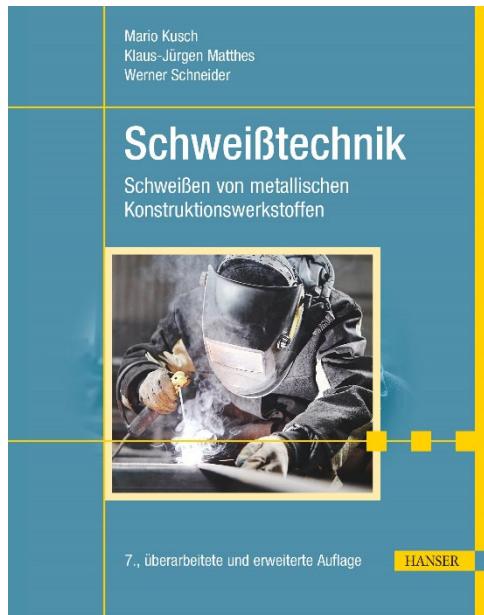


HANSER



Leseprobe

zu

„Schweißtechnik“

herausgegeben von Mario Kusch,
Klaus-Jürgen Matthes, Werner Schneider

ISBN (Buch): 978-3-446-46745-3

ISBN (E-Book): 978-3-446-47000-2

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/9783446467453>
sowie im Buchhandel

Vorwort

Die schweißtechnische Ausbildung hat in Chemnitz eine langjährige Tradition. Ab dem Jahr 1922 erfolgte eine theoretische und praktische Ausbildung in den Hörsälen und Laborräumen der damaligen Höheren Technischen Lehranstalt. Es wurden die ersten schweißtechnischen Lehrgänge in Verfahrenstechniken des Gas- und Lichtbogenschweißens durchgeführt und Schweißerprüfungen abgenommen. Dieser Tradition fühlen sich die Herausgeber und Autoren verpflichtet.

Forschung, Entwicklung und Anwendung des Schweißens und verwandter Verfahren haben große volkswirtschaftliche Bedeutung. Geschweißte Bauteile finden wir sowohl im Maschinen-, Apparate- und Stahlbau als auch im Automobil-, Schiff- und Flugzeugbau sowie in vielen weiteren technischen Produkten. Die fortschreitende Automatisierung in der Schweißtechnik ermöglicht u.a. auch eine umfassende fertigungstechnische Nutzung physikalischer und chemischer Effekte zum örtlich begrenzten Energieeintrag (Wärme und/oder Druck). Diese unterschiedlichen physikalischen und chemischen Effekte und ihre Kombinationen bilden die Grundlage für die Gliederung dieses Buches und der Verfahrensbeschreibungen.

Neben den theoretischen Grundlagen werden die Schweißverfahren vorgestellt und ihre Anwendungsgebiete aufgezeigt. Schwerpunkte bei den einzelnen Verfahren sind:

- Wirkprinzipien und gerätetechnische Umsetzung,
- Verfahrensmerkmale und Anwendungen,
- Merkblätter und Fachnormen,
- Verfahrensprinzip und Anlagentechnik,
- Verfahrensvarianten,
- Zusatzwerkstoffe,
- Schweißeignung,
- Gestaltungs- und Fertigungshinweise,

- Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren sowie
- Arbeits- und Gesundheitsschutz.

Schweißen dient dazu, eine Schweißverbindung oder eine geschweißte Beschichtung herzustellen. Voraussetzung für eine qualitätsgerechte Ausführung ist die Berücksichtigung der Einflussfaktoren auf die Schweißbarkeit. Diese Einflussfaktoren umfassen sowohl die konstruktive Gestaltung und die stofflichen Gegebenheiten des zu schweißenden Produkts als auch die fertigungstechnischen Bedingungen. Die fachkundige Ausführung des Schweißvorganges kann nur dann zur qualitätsgerechten Verbindungen führen, wenn das Vorbereiten der Fügestelle und das Nachbereiten sowie Kontrollieren der Verbindung mit Sorgfalt und Umsicht ausgeführt werden. Eine komplexe Berücksichtigung der verschiedenen Einflüsse ist im realen Schweißprozess deshalb in jedem Fall unerlässlich.

Das vorgelegte Lehr- und Fachbuch wendet sich vor allem an Studierende des Maschinenbaus, der Produktionstechnik und der Konstruktionstechnik an Universitäten, Fachhochschulen, Berufsakademien und Weiterbildungseinrichtungen. Es soll ihnen die Möglichkeit geben, den Lernstoff aus den Vorlesungen zu vertiefen sowie Seminare und Übungen gezielt und fundiert vorzubereiten. Natürlich bietet es auch Studienbewerbern die Möglichkeit, sich über das Wissensgebiet „Schweißen und verwandte Verfahren“ umfangreich zu informieren. Nicht zuletzt wird es zur Auffrischung und als Nachschlagewerk für in der Praxis tätige Ingenieure und interessierte Leser nutzbar sein.

Das Buch präsentiert den aktuellen Stand des Fachgebietes und der Fachnormen. Die systemati-

sche Gliederung des Buches und die annähernd 800 Begriffe des Sachwortverzeichnisses geben dem Nutzer eine klare Orientierung und ermöglichen ein schnelles Auffinden der gesuchten Texte, Tafeln und Bilder.

Bei der aktualisierten 7. Auflage dieses Buches haben sehr fachkompetente Autoren mitgewirkt. Es wurden neueste technische Entwicklungen auf dem Gebiet der Schweißtechnik aufgenommen und das zitierte Norm- und Regelwerk dem aktuellen Stand angepasst.

Wir wünschen den Lesern, dass sie die Antworten auf ihre Fragen zu den Schweißverfahren finden und dass trotz der Fülle des Stoffs Klarheit und Verständnis dominieren.

Den Autoren und allen, die an der Fertigstellung dieses Fachbuches maßgeblich mitgearbeitet haben, wird für die gute Zusammenarbeit gedankt.

Die Herausgeber

Inhalt

Vorwort.....	5	3	Schweißen mit Lichtbogen	64
		3.1	<i>Grundlagen der Lichtbogentechnik.....</i>	64
1 Grundlagen	15		3.1.1 Physik des Lichtbogens.....	64
1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580.....	15		3.1.2 Zünden des Lichtbogens	67
1.2 Fügen durch Schweißen	17	3.2	3.1.3 Betrieb des Lichtbogens	69
1.3 Wirkprinzipien beim Schweißen.....	19		Schweißstromquellen zum Lichtbogen-schweißen	71
			3.2.1 Überblick	71
			3.2.2 Schweißumformer	71
2 Schweißbarkeit	29		3.2.3 Schweißtransformatoren.....	72
2.1 Grundlagen und Einteilung	29		3.2.4 Schweißgleichrichter	73
2.2 Schweißeignung von Stählen	31		3.2.5 Schweißumrichter	75
2.3 Schweißsicherheit	36		3.2.6 Statische Kennlinien von Schweißstromquellen	76
2.3.1 Konstruktive Gestaltung	37		3.2.7 Dynamische Eigenschaften von Schweißstromquellen.....	77
2.3.2 Beanspruchungszustand.....	40		3.2.8 Regelungsprinzipien zur Arbeitspunktstabilisierung ..	78
2.3.3 Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen	40		3.2.9 Modulationsarten bei Impulsstromquellen	79
2.3.4 Anwendung von Finite-Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke.....	43		3.2.10 Angaben auf dem Leistungsschild	80
2.4 Schweißmöglichkeit	44	3.3	Schweißbrenner zum Lichtbogen-schweißen	82
2.4.1 Grundlagen.....	44		3.3.1 Stabelektronenhalter	82
2.4.2 Vorbereitungen zum Schweißen.....	45		3.3.2 Stromkontakteeinrichtung zum UP-Schweißen	83
2.4.3 Durchführung des Schweißens.....	47		3.3.3 Schweißbrenner mit nicht-abschmelzender Elektrode ...	83
2.4.4 Nacharbeiten beim Schweißen.....	55		3.3.4 Schweißbrenner mit abschmelzender Elektrode ...	85
2.4.5 Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen.....	55		3.3.5 Bolzenschweißpistolen	86
2.5 Qualitätssicherung beim Schweißen	56	3.4	Drahtvorschubsysteme zum Lichtbogenschweißen	87
2.6 Arbeitsschutz beim Schweißen	59		3.4.1 Grundaufbau	87
2.7 Schweißen im Produkt-, Umwelt- und Energiemanagement	60		3.4.1.1 Stirnrollenantrieb.....	88
			3.4.1.2 Planetarantrieb	89

3.4.2	Bauformen mit potenzial-führender Drahtelektrode.....	90	3.7.3.6	Schweißparameter.....	125
3.4.2.1	Bauformen mit nicht potenzialführender Draht-elektrode.....	91	3.7.4	Fehler beim Lichtbogen-handschweißen.....	126
3.4.2.2	Drahtrichteneinheiten	91	3.7.4.1	Häufige Ursachen und Fehlerbilder.....	126
3.5	<i>Zusatzwerkstoffe zum Lichtbogen-schweißen.....</i>	92	3.7.4.2	Poren	128
3.5.1	Stabelektronen.....	92	3.7.4.3	Schlackeeinschlüsse	128
3.5.2	Schweißstäbe	96	3.7.4.4	Bindefehler.....	128
3.5.3	Massivdrahtelektroden	97	3.7.4.5	Geometrische Unregel-mäßigkeiten.....	128
3.5.4	Fülldrahtelektroden	99	3.7.5	Gefährdungen für den Schweißer	129
3.5.5	Schweißpulver zum UP-Schweißen	103	3.8	<i>Wolfram-Inertgasschweißen</i>	
3.5.6	Schweißpulver zum Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PTA).....	105	(Prozess 141).....		129
3.5.7	Schweißbolzen	106	3.8.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	130
3.6	<i>Gase zum Lichtbogenschweißen.....</i>	108	3.8.1.1	Funktionsweise.....	130
3.6.1	Aufgaben von Schutzgasen...	108	3.8.1.2	Schutzgase.....	131
3.6.2	Eigenschaften von Schutzgasen	108	3.8.1.3	Wolframelektronen	133
3.6.3	Einteilung und Bezeichnung von Schutzgasen.....	109	3.8.1.4	Zusatzerkstoff	135
3.6.4	Herstellung von Schutzgasen	111	3.8.1.5	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	136
3.6.5	Lieferarten und Entnahmestellen	111	3.8.2	Verfahrensvarianten	137
3.6.6	Kennzeichnung von Druckgasflaschen.....	112	3.8.2.1	Zünden des Lichtbogens	137
3.7	<i>Lichtbogenhandschweißen (Prozess 111)</i>	113	3.8.2.2	Stromart und Polarität.....	138
3.7.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	113	3.8.2.3	Mechanisierungsgrad.....	141
3.7.1.1	Funktionsweise.....	113	3.8.2.4	WIG-Schweißen mit Zusatzerkstoff	142
3.7.1.2	Schweißstromquellen	114	3.8.3	Anwendung	143
3.7.1.3	Elektrodenhalter.....	115	3.8.3.1	Verbindungsschweißen	143
3.7.1.4	Stabelektronen.....	115	3.8.3.2	Reparaturschweißen	143
3.7.2	Anwendung	120	3.8.3.3	WIG-Orbitalschweißen	143
3.7.2.1	Allgemeines.....	120	3.8.3.4	WIG-Punktschweißen	145
3.7.2.2	Reparaturschweißen	120	3.8.3.5	WIG-Engspaltschweißen	145
3.7.2.3	Auftragschweißen	120	3.8.3.6	WIG-Auftragschweißen	146
3.7.2.4	Verbindungsschweißen	120	3.8.3.7	Sonderanwendungen	147
3.7.3	Fertigungshinweise.....	120	3.8.4	Fertigungshinweise.....	147
3.7.3.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	120	3.8.4.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	147
3.7.3.4	Zündvorgang	121	3.8.4.2	Zündvorgang	148
3.7.3.5	Führen der Elektrode.....	123	3.8.4.3	Brennerführung	149
			3.8.4.4	Heften	149
			3.8.4.5	Gasschutz	149
			3.8.4.6	Richtwerte	151
			3.8.5	Fehler beim WIG-Schweißen	151
			3.8.5.1	Gaseinschlüsse	151
			3.8.5.2	Bindefehler	153

3.8.5.3	Wolframeinschlüsse.....	153	3.10	<i>Metall-Schutzgasschweißen (Prozess 13)</i>	191
3.8.5.4	Oxideinschlüsse	153	3.10.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	192
3.8.5.5	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	153	3.10.1.1	Funktionsweise.....	192
3.8.6	Gefährdungen für den Schweißer	156	3.10.1.2	Schutzgase.....	192
3.9	<i>Plasmaschweißen (Prozess 15)</i>	157	3.10.1.3	Zusatzwerkstoff	196
3.9.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	158	3.10.1.4	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	197
3.9.1.1	Funktionsweise.....	158	3.10.2	Lichtbogenarten.....	199
3.9.1.2	Prozess- und Schutzgase.....	161	3.10.2.1	Allgemein	199
3.9.1.3	Wolframelektroden	164	3.10.2.2	Kurzlichtbogen	200
3.9.1.4	Zusatzwerkstoff	165	3.10.2.3	Übergangslichtbogen.....	200
3.9.1.5	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	166	3.10.2.4	Sprühlichtbogen	200
3.9.2	Verfahrensvarianten.....	169	3.10.2.5	Impulslichtbogen.....	200
3.9.2.1	Zünden des Lichtbogens	169	3.10.2.6	Hochleistungs-Kurz- lichtbogen	201
3.9.2.2	Stromart und Polarität.....	170	3.10.2.7	Instabiler Lichtbogen.....	201
3.9.2.3	Mechanisierungsgrad.....	174	3.10.2.8	Rotierender Lichtbogen	201
3.9.2.4	Plasmaschweißen mit Zusatzwerkstoff	174	3.10.2.9	Hochleistungs-Sprüh- lichtbogen	202
3.9.2.5	Schmelzbadausbildung	176	3.10.2.10	Kräfte beim Werkstoff- übergang.....	202
3.9.3	Anwendung	177	3.10.3	Verfahrensvarianten	204
3.9.3.1	Verbindungsschweißen	177	3.10.3.1	Hochleistungsschweißen.....	204
3.9.3.2	Plasma-Punktschweißen	178	3.10.3.2	Energiereduzierte MSG- Prozesse	208
3.9.3.3	Plasma-Auftragschweißen	178	3.10.3.3	Modifizierte MSG- Impulsprozesse	210
3.9.3.4	Mikroplasmaschweißen	179	3.10.3.4	MSG-Hybridprozesse	212
3.9.3.5	Additive Fertigung	181	3.10.3.5	Zünden des Lichtbogens	214
3.9.4	Fertigungshinweise.....	182	3.10.3.6	Mechanisierungsgrad	214
3.9.4.1	Allgemeines.....	182	3.10.4	Anwendung	214
3.9.4.2	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	183	3.10.4.1	Verbindungsschweißen	214
3.9.4.3	Zündvorgang	183	3.10.4.2	MSG-Engspaltschweißen.....	215
3.9.4.4	Brennerführung	184	3.10.4.3	MSG-Auftragschweißen.....	216
3.9.4.5	Heften.....	185	3.10.4.4	Additive Fertigung	217
3.9.4.6	Gasschutz	185	3.10.4.5	Sonderanwendungen	218
3.9.4.7	Richtwerte	187	3.10.5	Fertigungshinweise	219
3.9.5	Fehler beim Plasmaschweißen.....	188	3.10.5.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	219
3.9.5.1	Gaseinschlüsse	188	3.10.5.2	Zündvorgang	220
3.9.5.2	Nahtunterwölbung	189	3.10.5.3	Brennerführung	220
3.9.5.3	Einbrandkerben	189	3.10.5.4	Heften	222
3.9.5.4	Oxideinschlüsse	189	3.10.5.5	Gasschutz	222
3.9.5.5	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	190	3.10.5.6	Richtwerte	223
3.9.6	Gefährdungen für den Schweißer	190	3.10.6	Fehler beim MSG- Schweißen.....	224

3.10.6.1	Gaseinschlüsse	224	3.11.5.1	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	269
3.10.6.2	Bindefehler	224	3.11.5.2	Durchschweißfehler.....	269
3.10.6.3	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	227	3.11.5.3	Nahtüberhöhung	269
3.10.7	Gefährdungen für den Schweißer	227	3.11.5.4	Risse	270
3.11	<i>Unterpulverschweißen (Prozess 12)</i>	227	3.11.5.5	Lunker.....	271
3.11.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	228	3.11.5.6	Schlackeeinschlüsse	271
3.11.1.1	Funktionsweise.....	228	3.11.6	Gefährdungen für den Schweißer	271
3.11.1.2	Schweißpulver	229	3.12	<i>Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen</i>	271
3.11.1.3	Elektroden	244	3.12.1	Grundlagen.....	272
3.11.1.4	Stromquellen und Brenner-technik	246	3.12.2	Pressstumpfschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (Prozess 185).....	272
3.11.1.5	Mechanisierungs-einrichtungen	248	3.12.2.1	Verfahrensprinzip	272
3.11.2	Verfahrensvarianten des Unterpulverschweißens	249	3.12.2.2	Anwendungsbereiche	272
3.11.2.1	Überblick	249	3.12.2.3	Ausrüstungen.....	273
3.11.2.2	UP-Eindrahtschweißen	249	3.12.2.4	Zusatzstoffe	273
3.11.2.3	UP-Doppeldrahtschweißen ...	249	3.12.2.5	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	273
3.11.2.4	UP-Tandemschweißen	252	3.12.2.6	Fertigungshinweise.....	273
3.11.2.5	UP-Mehrdrahtschweißen	252	3.12.3	Schmelzschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBS-Schweißen)	274
3.11.2.6	UP-Bandschweißen	253	3.12.3.1	Verfahrensprinzip	274
3.11.2.7	UP-Kaltdrahtschweißen.....	254	3.12.3.2	Anwendungsbereiche	274
3.11.2.8	UP-Heißdrahtschweißen.....	254	3.12.3.3	Zusatzstoffe	274
3.11.2.9	UP-Schweißen mit Metall-pulverzugabe.....	254	3.12.3.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	274
3.11.3	Anwendung des UP-Verfahrens	255	3.12.3.5	Fertigungshinweise.....	275
3.11.3.1	Überblick	255	3.13	<i>Lichtbogenbolzenschweißen</i>	275
3.11.3.2	Verbindungsschweißen	255	3.13.1	Grundlagen.....	276
3.11.3.3	UP-Auftragschweißen	255	3.13.2	Verfahrensprinzip	276
3.11.3.4	UP-Engspaltschweißen	256	3.13.2.1	Kondensatorenentladungs-Bolzenschweißen mit Hubzündung (Prozess 785) ..	276
3.11.3.5	UP-Quernahtschweißen.....	257	3.13.2.2	Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung (Prozess 786)	276
3.11.3.6	Verfahrensvergleich.....	258	3.13.2.3	Hubzündungs-Bolzen-schweißen mit Keramikring oder Schutzgas (Prozess 783)	276
3.11.4	Fertigungshinweise.....	258	3.13.3	Anwendungsbereiche	277
3.11.4.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	258	3.13.4	Zusatzstoffe	278
3.11.4.2	Schmelzbadsicherung	261			
3.11.4.3	Heften	262			
3.11.4.4	An- und Auslaufbleche	262			
3.11.4.5	Werkstückneigung	263			
3.11.4.6	Zünden des Lichtbogens	263			
3.11.4.7	Nahtformung	264			
3.11.4.8	Richtwerte	266			
3.11.5	Fehler beim UP-Schweißen...	269			

3.13.5	Fertigungshinweise.....	279	4.1.5.3	Gasschläuche	312
3.13.6	Ausrüstungen.....	279	4.1.5.4	Sicherheitseinrichtungen	314
3.14	Sensorik beim Lichtbogenschweißen.....	281	4.2	Einteilung der Verfahren der Autogentechnik nach DIN 8522.....	316
3.14.1	Überblick	281		Gasschmelzschweißen (Prozess 31)	317
3.14.2	Taktile Sensoren	282	4.3	4.3.1 Grundlagen.....	318
3.14.3	Elektromagnetische Sensoren	283		4.3.2 Anwendung	319
3.14.4	Lasersensoren	284		4.3.2.1 Allgemeines.....	319
3.14.5	Lichtbogensensoren	285		4.3.2.2 Fugenformen.....	320
3.15	Gefährdungen beim Lichtbogenschweißen.....	287		4.3.2.3 Schweißpositionen	320
3.15.1	Elektrischer Strom	287		4.3.2.4 Werkstückdicken.....	320
3.15.2	Elektromagnetische Strahlung	288		4.3.3 Ausrüstung	320
3.15.3	Rauch, Stäube und Gase.....	289		4.3.4 Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe.....	322
3.15.4	Sauerstoffmangel.....	290		4.3.5 Technologische Merkmale	325
3.15.5	Spritzer und Schlacke.....	290		4.3.5.1 Nachrehtsschweißen (NR)...	325
3.15.6	Druckgasflaschen.....	290	4.4	4.3.5.2 Nachlinksschweißen (NL)....	327
				Gaspressschweißen (Prozess 47).....	327
4	Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme	291		4.4.1 Verfahrensprinzip	327
4.1	Grundlagen der Autogentechnik.....	291		4.4.2 Anwendungsbereiche	328
4.1.1	Autogenflamme.....	291		4.4.3 Zusatzstoffe	328
4.1.1.1	Allgemeines.....	291		4.4.4 Fertigungshinweise.....	328
4.1.1.2	Verbrennung	291	5	4.4.5 Ausrüstungen.....	329
4.1.1.3	Flammeneinstellung	293			
4.1.2	Autogenbrenner.....	295	5.1	Schweißen mit Widerstands- erwärmung	330
4.1.2.1	Allgemeines.....	295		Einteilung der Widerstandsschweiß- verfahren	330
4.1.2.2	Brennerarten.....	295	5.2	Konduktives Widerstandsspress- schweißen	331
4.1.2.3	Betreiben der Autogen- brenner	297		5.2.1 Widerstandserwärmung durch konduktive Strom- übertragung	331
4.1.2.4	Flammenstörungen	299		5.2.2 Ausrüstungen zum konduktiven Widerstands- pressschweißen	332
4.1.3	Betriebsmittel der Autogen- technik	299		5.2.2.1 Aufbau einer konduktiven Widerstandsschweiß- maschine	332
4.1.3.1	Allgemeines.....	299		5.2.2.2 Schweißstromquellen zum konduktiven Widerstands- pressschweißen	333
4.1.3.2	Sauerstoff.....	299		5.2.2.3 Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen.....	338
4.1.3.3	Brenngase.....	301		5.2.3 Widerstandspunkt- schweißen (Prozess 21).....	339
4.1.3.4	Gegenüberstellung von Gasen der Autogen- technik	309		5.2.3.1 Verfahrensmerkmale	339
4.1.4	Sicherheitshinweise und -vorschriften für den Umgang mit Sauerstoff und Brenngasen	310			
4.1.5	Armaturen und Zubehör	311			
4.1.5.1	Allgemeines.....	311			
4.1.5.2	Druckminderer	311			

5.2.3.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung	340	5.2.6.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung	387
5.2.3.3	Schweißanlagenaufbau.....	342	5.2.6.3	Schweißanlagenaufbau.....	387
5.2.3.4	Elektroden zum Wider- standspunktschweißen.....	343	5.2.6.4	Schweißeignung	389
5.2.3.5	Konstruktive Gestaltung	346	5.2.6.5	Konstruktive Gestaltung	389
5.2.3.6	Fertigungshinweise.....	350	5.2.6.6	Fertigungshinweise.....	390
5.2.3.7	Prüfen der Schweiß- verbindung	352	5.2.6.8	Qualitätssicherung.....	392
5.2.3.9	Prüfen der Schweiß- verbindung	359	5.2.7	Prüfen der Schweiß- verbindung	393
5.2.3.10	Verfahrensvarianten.....	361		Pressstumpfschweißen (Prozess 25).....	393
5.2.3.11	Arbeits- und Gesundheits- schutz	362	5.2.7.1	Verfahrensmerkmale	393
5.2.4	Rollennahtschweißen (Prozess 22).....	363	5.2.7.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung	394
5.2.4.1	Verfahrensmerkmale	363	5.2.7.3	Schweißanlagenaufbau.....	395
5.2.4.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung	363	5.2.7.4	Schweißeignung	396
5.2.4.3	Schweißanlagenaufbau.....	364	5.2.7.5	Konstruktive Gestaltung	396
5.2.4.4	Elektroden zum Rollennaht- schweißen	366	5.2.7.6	Fertigungshinweise.....	397
5.2.4.5	Schweißeignung	367	5.2.7.7	Qualitätssicherung.....	398
5.2.4.6	Konstruktive Gestaltung	368	5.2.7.8	Prüfen der Schweiß- verbindung	398
5.2.4.7	Fertigungshinweise.....	369	5.2.7.9	Verfahrensvariante Kammerschweißen.....	398
5.2.4.8	Qualitätssicherung	371	5.3	<i>Induktives Widerstandsspressschweißen..</i>	399
5.2.4.9	Prüfen der Schweiß- verbindung	373	5.3.1	Widerstandserwärmung durch induktive Strom- übertragung	399
5.2.4.10	Verfahrensvarianten.....	373	5.3.2	Ausrüstungen zum induktiven Widerstands- pressschweißen	400
5.2.5	Buckelschweißen (Prozess 23).....	376	5.3.2.1	Aufbau einer induktiven Widerstandsschweiß- maschine.....	400
5.2.5.1	Verfahrensmerkmale	376	5.3.2.2	Schweißstromquellen zum induktiven Widerstands- pressschweißen	401
5.2.5.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung	377	5.3.2.3	Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen.....	401
5.2.5.3	Schweißanlagenaufbau.....	377	5.3.3	Induktives Hochfrequenz- schweißen (Prozess 743).....	402
5.2.5.4	Elektroden zum Buckel- schweißen	378	5.3.3.1	Verfahrensmerkmale	402
5.2.5.5	Schweißeignung	379	5.3.3.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung	402
5.2.5.6	Konstruktive Gestaltung	380	5.3.3.3	Schweißeignung	404
5.2.5.7	Fertigungshinweise.....	382	5.3.3.4	Fertigungshinweise.....	405
5.2.5.8	Qualitätssicherung	383	5.3.4	Induktives Stumpfschweißen (Prozess 741)	405
5.2.5.9	Prüfen der Schweiß- verbindung	385			
5.2.5.10	Verfahrensvarianten.....	385			
5.2.6	Abbrennstumpfschweißen (Prozess 24).....	386			
5.2.6.1	Verfahrensmerkmale	386			

5.4	Elektroschlackeschweißen (Prozess 72) ..	406	6.3.3	Weitere Verfahren der Elektronenstrahlmaterialbearbeitung	439
5.4.1	Grundlagen zum Elektroschlackeschweißen.....	406	6.3.4	Strahlenschutz.....	440
5.4.2	Elektroschlacke-Verbindungsschweißen	407	6.4	Laserstrahlschweißen (Prozess 52)	441
5.4.2.1	Verfahrensprinzip/-beschreibung	407	6.4.1	Grundlagen des Laserstrahlschweißens	443
5.4.2.2	Schweißanlagenaufbau.....	408	6.4.1.1	Entstehung und Besonderheiten von Laserlicht	443
5.4.2.3	Schweißpulver	409	6.4.1.2	Eigenschaften des Laserlichts.....	445
5.4.2.4	Zusatzwerkstoff	410	6.4.2	Laseranlagen.....	445
5.4.2.5	Schweißeignung	410	6.4.2.1	Laserstrahlquellen	445
5.4.2.6	Fertigungshinweise.....	410	6.4.2.2	Laserstrahlführung	452
5.4.2.7	Verfahrensvarianten.....	412	6.4.2.3	Fokussierende Optiken.....	453
5.4.3	Elektroschlacke-Auftragsschweißen.....	413	6.4.2.4	Bewegungseinrichtungen	454
5.4.3.1	Verfahrensprinzip/-beschreibung	413	6.4.2.5	Steuerung und Bedienung....	454
5.4.3.2	Schweißanlagenaufbau.....	414	6.4.3	Anwendung des Laserstrahlschweißens	455
5.4.3.3	Schweißpulver	415	6.4.3.1	Tiefschweißeffekt	455
5.4.3.4	Zusatzwerkstoff	415	6.4.3.2	Vorbereitung der Werkstücke	456
6	Schweißen mit Strahlen	417	6.4.3.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis	456
6.1	<i>Grundlagen der Strahltechnik</i>	417	6.4.3.4	Schweißeignung metallischer Werkstoffe	462
6.2	<i>Lichtstrahlschweißen - Schweißen mit inkohärentem Licht (Prozess 75)</i>	418	6.4.3.5	Industrielle Anwendung	464
6.3	<i>Elektronenstrahlschweißen (Prozess 51).</i>	419	6.4.4	Weitere Verfahren der Lasermaterialbearbeitung	465
6.3.1	Grundlagen des Elektronenstrahlschweißens.....	420	6.4.4.1	Überblick	465
6.3.1.1	Entstehung und Besonderheiten des Elektronenstrahls.....	420	6.4.4.2	Laserstrahlschneiden	466
6.3.1.2	Elektronenstrahlerzeugung..	421	6.4.4.3	Additive Fertigung mit dem Laserstrahl.....	468
6.3.1.3	Elektronenstrahlführung	422	6.4.5	Strahlenschutz	473
6.3.1.4	Elektronenstrahlschweißanlagen.....	423	6.4.6	Gegenüberstellung Elektronenstrahlschweißen – Laserstrahlschweißen.....	474
6.3.2	Anwendung des Elektronenstrahlschweißens.....	427	7	Schweißen durch Bewegungsenergie	478
6.3.2.1	Tiefschweißeffekt	427	7.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung kinetischer Energie.....</i>	478
6.3.2.2	Vorbereitung der Werkstücke	429	7.2	<i>Reibschweißen.....</i>	478
6.3.2.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis	431	7.2.1	Rotationsreibschweißen (Prozess 42).....	478
6.3.2.4	Schweißeignung metallischer Werkstoffe	435	7.2.1.1	Verfahrensprinzip.....	479
6.3.2.5	Industrielle Anwendung	438			

7.2.1.2	Ausrüstungen.....	479	8	Schweißen durch festen Körper	509
7.2.1.3	Anwendungsbereich	482	8.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung von Heizelementen</i>	509
7.2.1.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	483	8.2	<i>Heizelementschweißen.....</i>	509
7.2.1.5	Fertigungshinweise.....	484	8.2.1	Verfahrensprinzip	509
7.2.1.6	Richtwerte	487	8.2.2	Anwendungsbereich, Ausrüstungen	510
7.2.2	Linearreibschweißen	487	8.2.3	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	511
7.3	Rührreibschweißen (Prozess 43).....	489	8.2.4	Fertigungshinweise.....	511
7.3.1	Verfahrensprinzip	489	9	Schweißen mit Metallschmelzen	512
7.3.2	Ausrüstungen.....	490	9.1	<i>Grundlagen der schweißtechnischen Nutzung von Metallschmelzen</i>	512
7.3.3	Anwendungsbereiche	491	9.2	<i>Gießschweißen (Thermitschweißen).....</i>	512
7.3.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	492	9.2.1	Aluminothermisches Schmelzschweißen (Prozess 71).....	512
7.3.5	Fertigungshinweise.....	493	9.2.1.1	Verfahrensprinzip	512
7.3.6	Punktreibschweißen.....	493	9.2.1.2	Anwendungsbereich	513
7.3.6.1	Verfahrensprinzip	493	9.2.1.3	Ausrüstungen.....	514
7.3.6.2	Anwendungsbereiche	494	9.2.1.4	Fertigungshinweise.....	514
7.4	Ultraschallschweißen (Prozess 41)	495	9.2.2	Aluminothermisches Pressschweißen	515
7.4.1	Verfahrensprinzip	495	9.2.2.1	Verfahrensprinzip	515
7.4.2	Ausrüstungen.....	496	9.2.2.2	Anwendungsbereich	515
7.4.3	Anwendungsbereiche	497	9.2.2.3	Fertigungshinweise.....	515
7.4.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	498	9.3	<i>Besondere Gefährdungen.....</i>	516
7.4.5	Fertigungshinweise.....	498	10	Schweißen durch Diffusion	517
7.5	Kaltpressschweißen (Prozess 48).....	498	10.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung der Diffusion</i>	517
7.5.1	Verfahrensprinzip.....	500	10.2	<i>Diffusionsschweißen (Prozess 45).....</i>	517
7.5.2	Anwendungsbereich.....	501	10.2.1	Verfahrensprinzip	518
7.5.3	Konstruktive Gestaltung.....	502	10.2.2	Anwendungsbereich	519
7.5.4	Fertigungshinweise	503	10.2.3	Konstruktive Gestaltung	520
7.6	Sprengschweißen (Prozess 441).....	503	10.2.4	Fertigungshinweise.....	520
7.6.1	Verfahrensprinzip	504	Literaturverzeichnis.....	523	
7.6.2	Anwendungsbereich	505	Sachwortverzeichnis	541	
7.6.3	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	505			
7.6.4	Fertigungshinweise.....	506			
7.6.5	Spezielle Gefährdungen	506			
7.7	Magnetpulsschweißen (Prozess 442)	506			
7.7.1	Verfahrensprinzip	507			
7.7.2	Anwendungsbereich	507			
7.7.3	Spezielle Gefährdungen	508			

1

Grundlagen

1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Produktion (lat.: producere = hervor führen) ist der Prozess der Transformation von Ausgangsstoffen (Rohstoffen) in fertige bzw. weiter zu verarbeitende Produkte bzw. (Wirtschafts-)Güter. Dies erfolgt unter Einsatz von Energie sowie mithilfe spezifischer Produktionsmittel – sogenannter **Produktionstechnik** – nach festgelegtem Schema, d. h. auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse in Verfahren und Prozessen, die vom Menschen technologisch beherrscht werden. Die für die Produktion von Gütern mit geometrisch bestimmter Form aus festen Stoffen erforderlichen Bearbeitungsvorgänge werden als **Fertigungsverfahren** bezeichnet. Fertigungsverfahren können durch die Arbeitskraft des Menschen manuell vollzogen werden oder mechanisiert bzw. automatisiert erfolgen. Der Fortschritt in der

industriellen Produktionstechnik wird maßgeblich durch Mechanisierung bzw. Automatisierung des **Fertigungsprozesses** sowie der Optimierung seiner Elemente (Arbeitsgegenstand – Arbeitsmittel – Arbeitskraft) zueinander und zur Fertigungsorganisation bestimmt.

Die Vielzahl der Fertigungsverfahren zwingt zur Einordnung in ein überschaubares System, in dem sowohl die bislang bekannten, aber auch die in der Zukunft neu entwickelten Verfahren Platz finden. Die Einteilung der Fertigungsverfahren erfolgt entsprechend DIN 8580 in sechs Hauptgruppen: Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaft ändern (Bild 1.1).

Die Fertigungsverfahren lassen sich u. a. nach der Art ihrer Wirkungsweise auf den zu bearbeitenden Werkstoff unterscheiden. Dabei bestehen wechselseitige Anforderungen zwischen dem Fertigungsverfahren und dem Werkstoff. So sind einerseits nicht alle Verfahren auf jeden Werkstoff anwendbar und andererseits lässt sich nicht jeder Werkstoff mit jedem

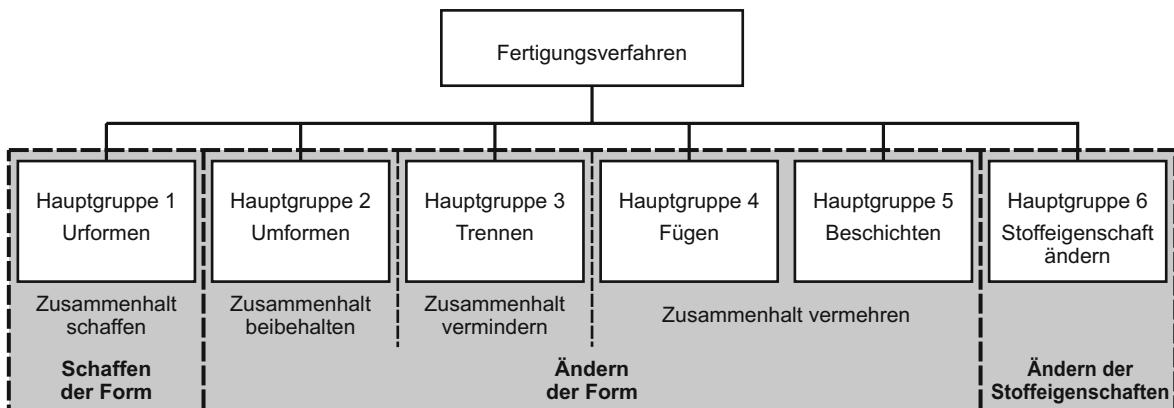


Bild 1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach Art des Zusammenhalts und deren Wirkungsweise nach DIN 8580

Tabelle 1.1 Teiloperationen des Montageprozesses nach VDI 2860

Montage				
Fügen (DIN 8593)	Handhaben (VDI 2860)	Kontrollieren (VDI 2860)	Justieren durch	Sonderoperation
<ul style="list-style-type: none"> ■ Zusammensetzen ■ Füllen ■ Anpressen und Einpressen ■ Fügen durch Urformen ■ Fügen durch Umformen ■ Fügen durch Schweißen ■ Fügen durch Löten ■ Fügen durch Kleben ■ textiles Fügen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Speichern ■ Mengen verändern ■ Bewegen ■ Sichern ■ Kontrollieren 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Messen ■ Prüfen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Einformen ■ Umformen ■ Trennen ■ Fügen von Ausgleichsteilen ■ Einstellen ■ Nachbehandeln 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Markieren ■ Erwärmen ■ Kühlen ■ Reinigen ■ Entgraten ■ Bedrucken ■ Abdecken ■ Abziehen ■ Auspacken ■ Ölen ■ Einsprühen ■ Abdichten

Fertigungsverfahren sinnvoll bearbeiten. Diese Einflüsse und Wechselbeziehungen müssen sowohl bei der Produkt- und Fertigungsprozessgestaltung als auch beim Qualitätsmanagement berücksichtigt werden. Für das Fügen und besonders beim stoffschlüssigen Fügen, wie z.B. Schweißen, Löten, Kleben u.a., besteht in besonderem Maße diese Abhängigkeit, da hier neben Bauteilen aus artgleichen Werkstoffen auch Werkstoffkombinationen gefügt werden. Dies zeigt auch, dass das Fügen eine besondere, grundlegende Bedeutung besitzt. Einerseits existieren kaum monolithische Produkte und andererseits ermöglicht das Fügen die Herstellung komplexer Produkte aus einzelnen, fertigungstechnisch einfacher herzustellenden Bauteilen und erreicht damit außerdem eine Flexibilität in der Prozesskette.

Neben der Einteilung des Fügens in die Gruppe der Fertigungsverfahren ist Fügen auch eine primäre Operation der **Montage**, zu der auch sekundäre Vorgänge wie Handhaben, Kontrollieren, Justieren sowie weitere Sonderoperationen, wie z.B. Reinigen oder Markieren, gehören (Tabelle 1.1). Das Fügen bewirkt bei der Montage, d.h. beim gezielten Zusammenbau, den aktiven Fertigungsfortschritt am

Werkstück bzw. Arbeitsgegenstand hin zum Produkt, d.h., der Zusammenhalt zwischen den Einzelteilen und Baugruppen wird örtlich geschaffen und insgesamt vermehrt.

Unterschiedliche Werkstoffe, wie Metall, Holz, Kunststoff, Textil oder Papier, erfordern jeweils spezifische Fügeverfahren. Gefügt werden können zwei Bauteile **unmittelbar**, d.h. ohne zusätzliche Stoffe, aber auch **mittelbar** mithilfe eines **Verbindungselements**, wie z.B. Schraube, Niet, Nagel oder Spreizring, bzw. eines **Zusatzwerkstoffes** wie Vergussmittel, Schweißelektrode oder Kitt. Dementsprechend gibt es eine große Anzahl verschiedenartiger Fügeverfahren.

Die Unterteilung der Fertigungsverfahrenshauptgruppe „Fügen“ in Gruppen erfolgt in DIN 8593-0 nach dem Ordnungsgesichtspunkt „Art des Zusammenhalts unter Berücksichtigung der Art der Erzeugung“. Die Arten des Zusammenhalts lassen sich dabei unterscheiden in

- Schwerkraft (Reiben), Formschluss oder Federkraft beim Zusammensetzen,
- Einschluss in einen das Füllgut umschließenden Körper beim Füllen,

- Kraftschluss beim An- und Einpressen,
- Formschluss, der durch Urformen bzw. Umformen hervorgerufen wird,
- Stoffverbindung beim Schweißen und Löten,
- Adhäsion beim Kleben sowie
- Formschluss und/oder Kraftschluss bei textilen Faserstoffen.

Daraus resultierend ergibt sich die Einteilung der Hauptgruppe „Fügen“ in neun Verfahrensgruppen (Bild 1.2).

Für das **Fügen** wurde folgende Definition entwickelt:

Fügen ist ein auf Dauer angelegtes Verbinden oder sonstiges Zusammenbringen von zwei oder mehreren Werkstücken (Fügeteilen) geometrisch bestimmter fester Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosem Stoff, dabei wird der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt.

Der Bereich der Fügeteile, in dem die Verbindung gezielt hergestellt wird, ist die **Fügestelle**. Diese variiert je nach Fügeverfahren in ihren Abmessungen und spezifischen Eigenschaften. Als **Fügevorgang** wird die zeitliche Folge der technologischen Operationen beim Fügen bezeichnet, wie z.B. „In-Lage-bringen“, „In-Lage-halten“ etc. Der **Fügeprozess** ist die Wechselbeziehung der Elemente des Prozesses sowie deren Wirkung aufeinander in ihrer zeitlichen Folge. Elemente des Fügeprozesses sind u.a. Arbeitsgegenstand (Fügeteile), Arbeitsmittel (z.B. Schweißbrenner, Zusatzwerkstoff etc.), Arbeitskraft (des Menschen) und Arbeitsorganisation (z.B. Gruppenarbeit).

1.2 Fügen durch Schweißen

Beim Fügen durch **Schweißen** wird der Zusammenhalt durch Stoffverbinden unter Anwendung von Wärme und/oder Kraft mit oder ohne Schweißzusatz erzielt. Dies wird teilweise durch den Einsatz von Schweißhilfsstoffen wie Schutzgasen, Schweißpulver oder Pasten erst ermöglicht oder kann durch diese erweitert werden. Kennzeichnend für eine

Schweißverbindung ist, dass alle Fügeteile sowie eventuell verwendete Zusatzwerkstoffe aus artgleichen bzw. artähnlichen Werkstoffen bestehen und daher auch näherungsweise gleiche Schmelztemperaturen aufweisen.

Die Fügestelle wird beim Schweißen als **Schweißzone** bezeichnet und umfasst das **Schweißgut** (tatsächlich aufgeschmolzener Werkstoff) und die **Wärmeinflusszone (WEZ)**. Die WEZ ist der durch das Schweißen verfahrensbedingt thermisch beeinflusste Bereich direkt neben dem Schweißgut, in dem es infolge der thermischen Beeinflussung zu werkstofflichen Veränderungen (z.B. Kornveränderungen, Diffusionsvorgängen) kommen kann.

Die zum Schweißen erforderliche Energie wird stets von außen in die Fügeteile eingebracht, wobei dies verfahrensabhängig mehr oder weniger lokal an der eigentlichen Fügestelle erfolgt. Dabei können verschiedene physikalische Energieformen Anwendung finden. Die für das Schweißen häufigste Form ist **thermische Energie**, die als **Wärme** zugeführt wird. Das ermöglicht in vielen Fällen den Fügevorgang bzw. fördert in der Regel den Fügeprozess. Typische Formen der Wärmeerzeugung sind chemische Reaktionen, die Wirkung des elektrischen Stroms, Reibung, Wirkung von Strahlen u.a. (Bild 1.3).

Beim Schweißen unter ausschließlicher Anwendung von thermischer Energie wird der Werkstoff an der Fügestelle lokal bis zum Schmelzpunkt der Fügeteile erwärmt, dies führt zum Stoffverbinden. Dieser Prozess wird aus diesem Grund als **Schmelzschiweißen** bezeichnet.

Neben der Einwirkung von Wärme kann der Schweißvorgang auch unter der Wirkung von Kraft oder Druck auf die Fügestelle bzw. einer Relativbewegung der Fügeteile erfolgen. Häufig ist eine zusätzliche Wärmeinbringung erforderlich. Derartige Prozesse werden als **Pressschweißen** bezeichnet.

1 Urformen DIN	2 Umformen DIN 8582	3 Trennen	4 Fügen DIN 8593-0	5 Beschichten	6 Stoffeigen-schaft ändern
1.1 Urformen aus dem flüssigen Zustand	2.1 Druckumformen DIN 8583-1	3.1 Zerteilen DIN 8588	4.1 Zusammensetzen DIN 8593-1	5.1 Beschichten aus dem flüssigen Zustand	6.1 Verfestigen durch Umformen
1.2 Urformen aus dem plastischen Zustand	2.2 Zugdruck-umformen DIN 8584-1	3.2 Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden DIN 8589-0	4.2 Füllen DIN 8593-2	5.2 Beschichten aus dem plastischen Zustand	6.2 Wärmebehandeln DIN EN ISO 4885
1.3 Urformen aus dem breiigen Zustand	2.3 Zugumformen DIN 8585-1	3.3 Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneiden DIN 8589-0	4.3 An- und Einpressen DIN 8593-3	5.3 Beschichten aus dem breiigen Zustand	6.3 Thermo-mechanisches Behandeln
1.4 Urformen aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	2.4 Biegeumformen DIN 8586	3.4 Abtragen DIN 8590	4.4 Fügen durch Urformen DIN 8593-4	5.4 Beschichten aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	6.4 Sintern Brennen
1.5 Urformen aus dem span- oder faserförmigen Zustand	2.5 Schubumformen DIN 8587	3.5 Zerlegen DIN 8591	4.5 Fügen durch Umformen DIN 8593-5	Die Gruppe 5.5 entfällt, da Beschichten aus dem spanförmigen Zustand nicht vorkommt.	6.5 Magnetisieren
<i>Da Schweißen und Löten beim Urformen im Gegensatz zum Beschichten nicht zur Anwendung kommen, bleiben die Gruppennummern 1.6 und 1.7 frei.</i>	3.6 Reinigen DIN 8592	4.6 Fügen durch Schweißen DIN 8593-6	5.6 Beschichten durch Schweißen		6.6 Bestrahlen
		4.7 Fügen durch Löten DIN 8593-7 DIN ISO 857-2	5.7 Beschichten durch Löten		6.7 Photo-chemische Verfahren
1.8 Urformen aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand		4.8 Kleben DIN 8593-8	5.8 Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand (Vakuumbeschichten)		
1.9 Urformen aus dem ionisierten Zustand		4.9 Textiles Fügen	5.9 Beschichten aus dem ionisierten Zustand		

Bild 1.2 Detaillierte Übersicht der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

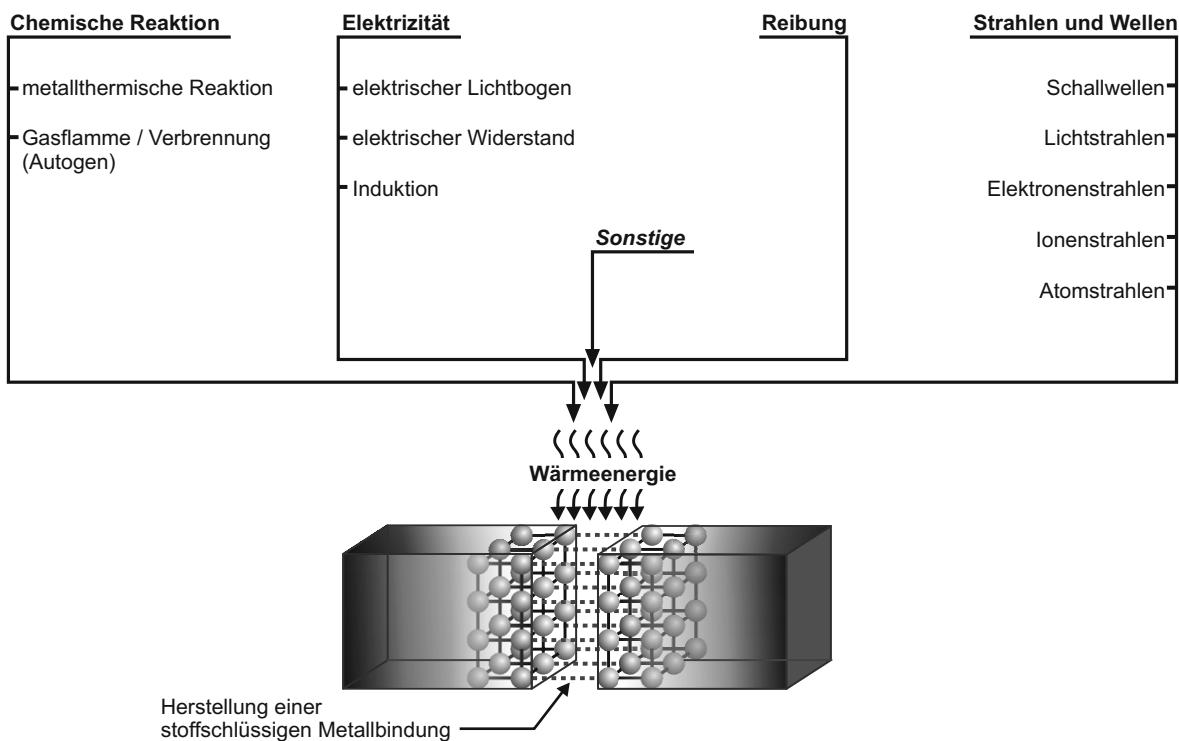


Bild 1.3 Formen der Wärmeerzeugung an der Fügestelle

Eine weitere Unterscheidung der Schweißverfahren nach dem Grad ihrer Mechanisierung und Automatisierung ist ebenso möglich, wie auch nach der Anwendung – d. h. dem Zweck des Schweißens – in Verbindungs- und Auftragschweißverfahren (Bild 1.4). Das Verbindungsschweißen dient der Herstellung von Schweißverbindungen zwischen mindestens zwei Fügeteilen. Auch das **Beschichten** eines Bauteils mit artähnlichem Zusatzwerkstoff, aber beispielsweise höherem Verschleißwiderstand wird als Schweißen (**Auftragschweißen**) bezeichnet. Das Auftragschweißen ist demnach ein stoffschlüssiges Beschichten von Flächen, das je nach der Art der Zusammensetzung des Schweißzusatzes unterschieden wird in Panzern, Plattieren und Puffern.

1.3 Wirkprinzipien beim Schweißen

Die Schweißverbindung ist eine stoffschlüssige Verbindung. Sie beruht auf der Wirkung zwischenatomarer und zwischenmolekularer Kräfte. Sie zählt zu den **unlösbaren Verbindungen**, die nur durch Materialzerstörung getrennt werden können, z. B. durch mechanische oder thermische Trennverfahren.

Im Folgenden werden ausschließlich Metalle betrachtet. Deren Zusammenhalt basiert auf sogenannter Metallbindung, einer Sonderform der chemischen Bindung, wie sie bei Metallen und in deren Legierungen auftritt. Diese ist gekennzeichnet durch frei bewegliche Elektronen (sogenanntes „**Elektronengas**“) innerhalb eines Metallgitters aus Metallionen, was zugleich auch Ursache für Stromleitfähigkeit, Duktilität, Schmiedbarkeit, Verform-

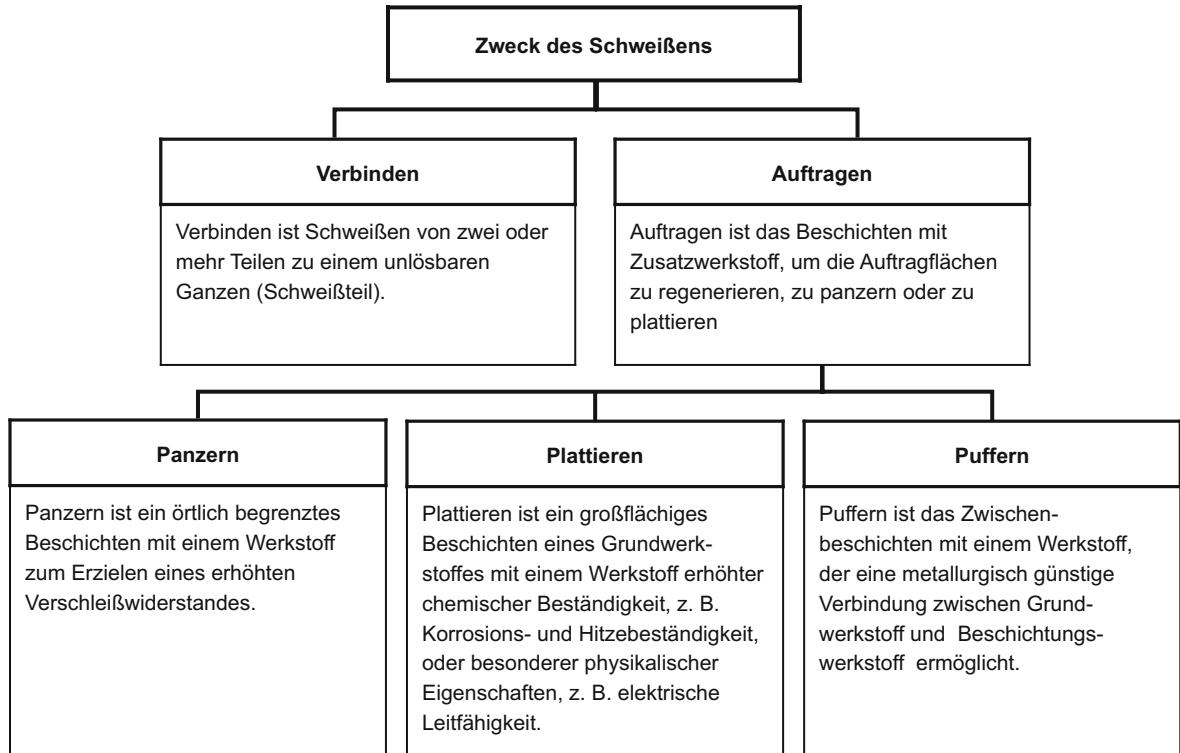


Bild 1.4 Einteilung des Schweißens nach dessen Zweck

barkeit) und den metallischen Glanz dieser Werkstoffe ist. Die eigentliche Bindung innerhalb des Metalls erfolgt durch Anziehungs Kräfte zwischen Metallionen und freien Elektronen.

Um eine Verbindung zweier fester Metalle herzustellen, ist es notwendig, die Metallgitterstruktur beider Fügepartner sehr stark anzunähern, damit die chemische Bindung der Metallionen an der Oberfläche des Werkstoffes (in der Fügestelle) wirksam wird. Zusätzlich zur Annäherung ist aber auch die Entfernung jeglicher Fremdschichten auf der Oberfläche (z.B. Oxide, Verunreinigungen etc.) der beiden Fügeteile im Bereich der Fügestelle erforderlich. Diese Anforderungen können u.a. durch das Aufschmelzen des Werkstoffes bzw. durch starke Druckeinwirkung oder auch Relativbewegung der Fügeteiloberflächen zueinander erzielt werden.

Schmelz- und Pressschweißen unterscheiden sich in deren physikalischem Ablauf. Das **Schmelzschweißen** ist ein Fügen bei örtlich begrenztem Schmelzfluss ohne Anwendung von Kraft mit oder ohne Schweißzusatz. Das **Pressschweißen** erfolgt unter Anwendung von Kraft ohne oder mit Schweißzusatz. Örtlich begrenztes Erwärmen der Fügeteile an der Fügestelle – auch bis zum Schmelzpunkt – ermöglicht oder erleichtert das Schweißen.

Bild 1.5 zeigt die **Wirkpaarungen** zwischen thermischer und mechanischer Energie, die je nach fertigungstechnischer und gerätetechnischer Umsetzung eine Einteilung der Schweißverfahren nach den **Wirkprinzipien** für das Pressschweißen und für das Schmelzschweißen zulassen.

In Tafel 1.1 werden ausgewählte Schweißverfahren entsprechend dieser Einteilung nach den Wirkprinzipien dargestellt. Diese Einteilung bei der

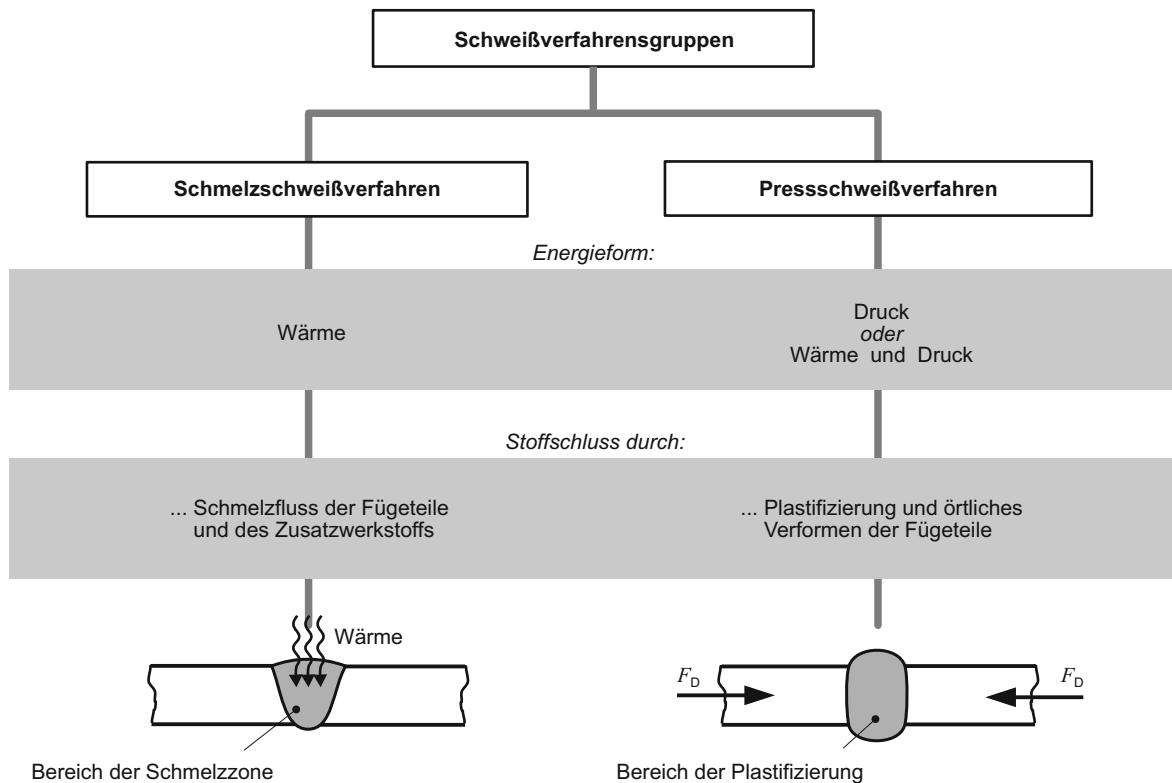


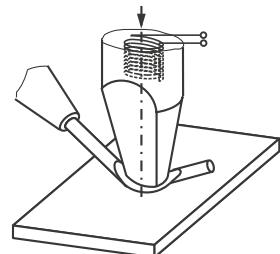
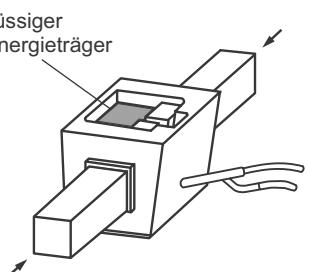
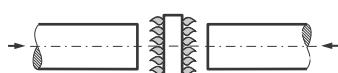
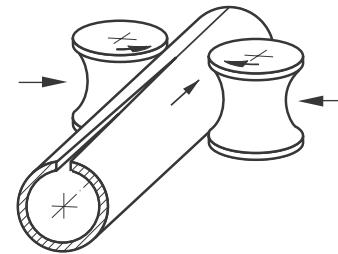
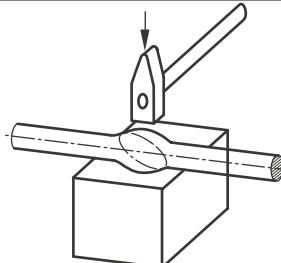
Bild 1.5 Wirkpaarungen beim Schweißen

Herstellung der Schweißverbindung ist ebenfalls Grundlage des Aufbaus dieses Buches in den nachfolgenden Kapiteln.

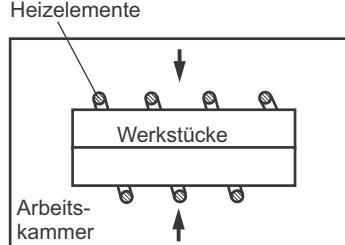
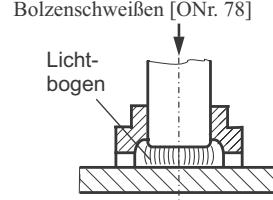
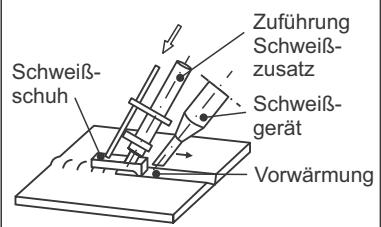
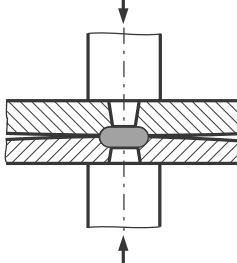
Für die in Tafel 1.1 dargestellten Verfahren wird neben der Verfahrensbezeichnung – sofern vorhanden – auch die jeweilige **Ordnungsnummer** (ONr.) für Schweißverfahren nach DIN EN ISO 4063 angegeben, die auch Anwendung in den weiteren Kapiteln dieses Buches findet. Die Gliederung dieser

höchstens dreistelligen Ordnungsnummer basiert in der ersten Ziffer auf dem physikalischen Grundprinzip, d.h. dem eingesetzten Energieträger zur Durchführung des Schweißens, wird aber gleichfalls für das thermische Schneiden sowie für Lötverfahren angewendet. Die nachfolgenden Ziffern (eine oder zwei) kennzeichnen gegebenenfalls vorhandene Verfahrensuntergruppen und -varianten.

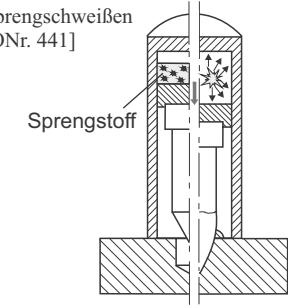
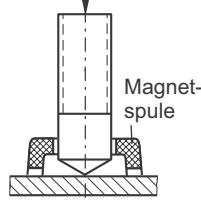
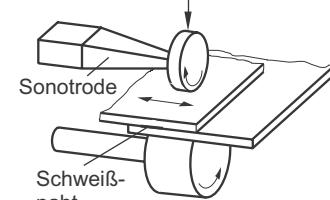
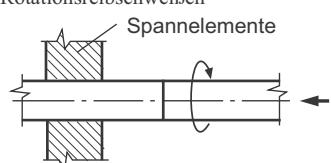
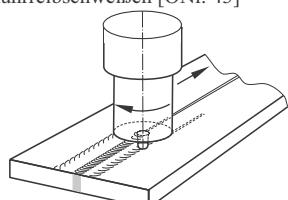
Tafel 1.1 Wirkprinzipien beim Schmelz- und Pressschweißen (in Anlehnung an DIN 8593-6)

Untergruppe	Wirkprinzip	Beschreibung [Ordnungsnummer]	Beispiel
6.1 Press-schweißen	6.1.1 ... durch feste Körper	Heizelement-schweißen Fügen von Werkstücken durch Anpressen mit einem beheizten Schweißwerkzeug	
	6.1.2 ... durch Flüssigkeit	Gießpress-schweißen Fügen, indem die Fügestelle der Werkstücke durch Umgießen mit einem flüssigen Energieträger erwärmt und verpresst wird	
	6.1.3 ... durch Gas	Gaspress-schweißen [ONr. 47] Fügen durch Verpressen von Werkstücken mit durch Flammen erwärmten Stoßflächen	
	Walz-schweißen	Fügen, indem erwärmte Werkstücke gemeinsam gewalzt werden	
	Feuer-schweißen	Fügen von Werkstücken durch Freiformen, Gesenkformen oder Durchdrücken der durch Feuer erwärmten Stoßflächen	

Tafel 1.1 (Fortsetzung)

Untergruppe	Wirkprinzip	Beschreibung [Ordnungsnummer]	Beispiel
6.1 Press-schweißen	6.1.3 ... durch Gas	Diffusions-schweißen [ONr. 45] Fügen von Werk-stücken im Vaku-um, unter Schutz-gas oder in einer Flüssigkeit auf-grund von Diffu-sion an den Stoß-flächen durch Wärme und Kraft	
	6.1.4 ... durch elektrische Gasent-ladung	Lichtbogen-press-schweißen Fügen durch Ver-pressen von Werk-stücken, die durch einen kurzzeitig brennenden Licht-bogen erwärmt wurden	 <p>alternative Verfahrensvariante: Schweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen [ONr.185]</p>
	6.1.5 ... durch Strahlung	Lichtstrahl-Extrusions-schweißen <i>Nur für Kunststoffe bekannt</i> Kunststoff wird über einen durch Lichtstrahl beheizten Extruder zum Schweißkopf geführt, der die beheizte Masse zwischen die vorher erwärmten Stoßflächen drückt	
	6.1.6 ... durch Bewegung	Kaltpress-schweißen [ONr. 48] Fügen, indem Werkstücke an der Fügestelle durch stetige Kraftein-wirkung ohne Wärme stark plastisch verformt werden	

Tafel 1.1 (Fortsetzung)

Untergruppe	Wirkprinzip	Beschreibung [Ordnungsnummer]	Beispiel
6.1 Press-schweißen	6.1.6 ... durch Bewegung	Schock-schweißen Fügen von Werkstücken durch schlagartige Krafteinwirkung	<p>Sprengschweißen [ONr. 441]</p>  <p>Magnetpuls-schweißen [ONr. 442]</p> 
	Ultraschall-schweißen [ONr. 41]	Fügen durch Kraft und schwingende Bewegung mit Frequenzen im Ultraschallbereich ($f \geq 20 \text{ kHz}$)	
	Reib-schweißen [ONr. 42]	Fügen, indem die durch Reibung erwärmten Werkstücke miteinander verpresst werden	<p>mind. ein Werkstück wird bewegt: Rotationsreibschweißen</p>  <p>Werkstücke werden nicht bewegt: Rührreibschweißen [ONr. 43]</p> 

Sachwortverzeichnis

Symbolle

4-Niveau-Laser 444

A

Abgrennstumpfschweißen 386
– Längenverlust 389
Ablängen 58
Ablenfiguren 433
Absaugung 474
Abschmelzleistung 204
Absorption 443
Aceton 305
Acetylenentwickler 304
Acetylen-Luft-Gemisch 301
Acetylenzerfall 301
Additive Fertigung
– mittels Elektronenstrahl 440
– mittels Laser 468
– mittels MSG-Schweißen 217
– mittels PTA-Schweißen 181
Aluminothermisches
Schmelzschweißen 514
Arbeitsgase 460
Arbeitskammer 423
Arbeitspunkt 78
Armaturen 311
Aspektverhältnis 456
Aufheizgeschwindigkeit 521
Auftragschweißen 19, 255
Aufweitung 459
Ausbringung 94, 100, 118
Äußere Regelung, delta U-Regelung 78
Austenitbildner 35
Autogenbrenner 295

B

Balance 75, 139
Bandelektroden 97
– zum Elektroschlacke-Auftragschweißen 415
– zum UP-Schweißen 244
Basizitätsgrad 103, 235
Beanspruchungszustand 37
Beschichten 19
Beschleunigungsspannung 421
Besetzungsinversion 444
Betriebsmittel 299
Beugungsmaßzahl 458
BG-Regeln 59
Blaswirkung 67
Bolzenschweißen 275
Bolzenschweißen mit Spitzenzündung 276
Bolzenschweißpistole 86
Brennerhaltungen 327
Brennweite 458
Buckelschweißen 376
– einseitig 385

Dissousgasflaschen 305

Divergenz 445
Divergenzwinkel 458
Doppelpulsen 212
Drahtpulsen 212
Draht-Pulver-Kombination 243
Drahtrichtwerk 91
Drahtvorschubsystem 87
Druckminderer 112, 311
Durchtrittstrommessung 432

E

Edelmetalle
– Ultraschallschweißen 495
Edelstähle 33
Eigenspannungen 56
Einschaltdauer 81
Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 15
Elektroden zum Buckelschweißen 378
Elektroden zum Rollennahtschweißen 366
Elektrogassschweißen 218
Elektromagnetische Sensoren 283
Elektronengas 19
Elektronenstrahl 421
Elektronenstrahlbohren 440
Elektronenstrahlgenerator 421
Elektronenstrahlhärten 439
Elektronenstrahlschweißen 421
Elektronenstrahlschweißverbindungen 430
Elektronenstrahlumschmelzen 440
Elektroschlacke-Auftragschweißen 413
Elektroschlacke-Mehrlagenschweißen 413

C

Calciumcarbid 302
CO₂-Gaslaser 448
CO₂-Slab-Laser 449
Crossjet 454

D

Dampfkanal 429
Deflagration 314
Demontage 61
Detonation 314
Diffusionsschweißen 517
Dimethylformamid 305
Diodenlaser 450

Elektroschlackeschweißen 406
 - mit abschmelzender Drahtzuführung 412
 - mit Metallpulverzugabe 413
 Erdgas 308
 Erschmelzungsart 32
 Excimerlaser 451

F

Farbkennzeichnung 320
 Faserlaser 447
 FEM 43
 Fensterwirkung 353
 Ferritbildner 35
 Fertigungsprozess 15
 Fertigungsverfahren 15
 Festkörperlaser 443
 Filter 474
 Flachdrahtelektrode
 - zum MSG-Schweißen 206
 Flammdurchschlag 314
 Flamme 291
 Flammeneinstellungen 293
 Flammenstörungen 299
 Flüssiggas 306
 Fokusdurchmesser 458
 Fokusposition 433
 Fokussierzahl 459
 Folien-Stumpfnahtschweißen 375
 Folien-Überlappnahtschweißen 375
 Fördergas 175
 Formiergas 131, 151, 161, 187
 Freies Drahtelektrodenende 205,
 221, 286
 Fügbarkeit 29
 Fuge 320
 Fügen durch Schweißen 17
 Fugenform 46
 Fügeprozess 17
 Fügestelle 17
 Fügevorgang 17
 Fülldrahtelektrode 244
 Fülldrahtelektroden 99, 197

G

Gas 310
 Gaslaser 443
 Gaslinse 150
 Gasrücktritt 314

Gasschlüche 312
 Gasschmelzschweißen 318
 Gasschweißen 318
 Gasverbrauch 320
 Gebrauchsstellenvorlage 315
 Gefährdungen beim Sprengschweißen 506
 Gefährdungsklassen 473
 Gefügeumwandlungen 34, 56
 Geprägte Buckel 380
 Gesteuerter Kurzlichtbogen 209
 Gleichdruckbrenner 297
 Grobkornzone 35
 Güte einer Schweißverbindung 56

H

Hauptgruppen der Fertigungsverfahren 316
 Heißdraht-Drahtvorschubeinheit 91
 Hilfsstromquelle 167
 Hochdruckbrenner 297
 Hochleistungs-Kurzlichtbogen 201
 Hochleistungs-Sprühlichtbogen 202
 Hochspannungsschweißanlagen 431
 Hochspannungszündung 68
 Hochvakumschweißanlagen 424
 Hubzündungs-Bolzenschweißen 276

I

I-Entwickler 304
 IG-IP-Modulation 79
 IG-UP-Modulation 79
 Impulslichtbogen 200
 Induktives Hochfrequenzschweißen 402
 - mit stabförmigem Induktor 404
 - mit umschließendem Induktor 403
 Induktives Stumpforschweißen 405
 Induktiv unterstütztes
 Laserstrahlschweißen 462
 Injektorbrenner 295
 Innere Regelung, delta I-Regelung 79
 Ionisation 64

K

Kaltdraht-Vorschubeinheiten 91
 Kammerschweißen 398
 Kathodischer Reinigungseffekt 141

Kaverne 228
 Kerbspannungskonzept 44
 Kohlenstoffäquivalent 33
 Kondensatorenladungs-
 Bolzenschweißen 276
 Kontaktzündung 67
 Kurzlichtbogen 200

L

LASER 443
 Laser-Abstandssensor 284
 Laserarbeitsplätze 473
 Laserbohren 467
 Lasereffekt 444
 Laserhärteln 467
 Laserklassen 474
 Laser-MSG-Schweißen 212
 Laserscanner 285
 Laserschutzwand 474
 Laserstrahlschneiden 466
 Laserstrahlschweißen 441
 Laserumschmelzen 467
 L-Entwickler 304
 Lichtbogen 64
 Lichtbogenhandschweißen 113
 Lichtbogenkennlinie 69
 Lichtbogensor 285
 Lichtleitfasern 453
 Lichtquant 443
 Lichtquellen 444
 Lichtschnittsensor 285
 Lichtstrahlschweißen 419

M

MAGC-Schweißen 193
 MAGM-Schweißen 193
 Magnetische Fokussierlinse 422
 Maschinenbrenner 297
 Massivbuckel 381
 Massivdrahtelektrode 97, 244
 M-Entwickler 304
 Metall-Aktivgasschweißen (MAG-
 Schweißen) 192
 Metalldampf 456
 Metall-Inertgasschweißen (MIG-
 Schweißen) 192
 Metall-Schutzgasschweißen 191
 MIG-AC-Schweißen 211
 MIG-Löten 210

Mikroplasmaschweißen 179
 Mitteldruckentwickler 304
 Monochromasie 445
 MSG-Absaugbrenner 198
 MSG-Auftragschweißen 216
 MSG-Dickdrahtschweißen 205
 MSG-Doppeldrahtschweißen 206
 MSG-Engspaltschweißen 215
 MSG-Flachdrahtschweißen 206
 MSG-Schweißbrenner 86
 MSG-Tandemschweißen 207

N

Nachlinksschweißen 325
 Nachrechttsschweißen 325
 Nachsetzeinheiten 383
 Nachweiskonzepte 43
 Natürliche Buckel 382
 Nd:YAG-Festkörperlaser 445, 447
 Nebenschluss 353, 383, 392, 397
 Nennspannungskonzept 43
 Niederdruckentwickler 304
 Nonvacuum-
 Elektronenstrahlschweißen 425

O

Offline-Programmierung 455
 Ökobilanzen 62
 Ordnungsnummer 21

P

Phasenanschnittsteuerung 74
 Photon 444
 Pilotlichtbogen 169
 Pilotlichtbogen-Zündung 68
 Pincheffekt 66
 Pinch-Effekt 203
 Planetarantrieb 89
 Plasma 456
 Plasma-Auftragschweißen 178
 Plasmabeeinflussung 456
 Plasmadiagnostik 462
 Plasmadüse 168
 Plasmagas 161
 Plasma-Heißdrahtschweißen 174
 Plasma-Impulsstromschweißen 172
 Plasma-Kaltdrahtschweißen 174
 Plasmalichtbogenschweißen 159

Plasma-MIG-Schweißen 213
 Plasma-Pulver-Auftragschweißen 179
 Plasma-Pulver-Schweißbrenner 85
 Plasma-Schweißbrenner 84
 Plasmaschweißen 157
 Plasma-Stichlochschweißen 176
 Plasmastrahlschweißen 159
 Plasmawolke 456
 PLM 61
 Pressschweißen 17, 20
 Pressstumpfschweißen 393
 - Längenverlust 396
 Primär getaktete Stromquelle, Inverter 75
 Product Lifecycle Management 61
 Produktionstechnik 15
 Produktlebensphasen 60
 Programmierbare Steuerung 432
 Prozessanalyse 55
 Prozessgase 291
 Pulsbreitenmodulation 75
 Pulverförderer 175
 Pulver-Plasmalichtbogenschweißen 160
 Pulverstrecke 247
 Punktschweißelektroden 343
 Punktschweißzange 342
 Push-Pull-Antrieb 90

Q

Qualitätsstähle 33
 Quetschnahtschweißen 373

R

Räumliche Kohärenz 445
 Rautiefe 520
 Recyclingfähigkeit 61
 Reibschweißen
 - Bauteilverkürzung 484
 Remote-Bearbeitung 454
 Rollennahtschweißen 363
 - Dorn-Schlitten 365
 - Längsnahtschweißen 365
 - Quernahtschweißen 365
 Rollennahtschweißen mit
 - Drahtzwischenelektrode 374
 Röntgenstrahlung 440
 Rotierender Lichtbogen 201
 Rücktrocknung 103, 119, 241

S

Sauerstoffversorgung 301
 Saugbrenner 295
 Scanneroptik 459
 Schaeffler-Diagramm 35
 Schärfentiefe 459
 Scheibenlaser 447
 Schleppgasdüse 150, 185, 222
 Schmelzbadsicherung 261
 Schmelzschweißen 17, 20
 Schutzgas 192
 Schutzgasbrause 150, 185
 Schutzgase 108, 131, 161, 461
 Schutzgläser 454
 Schweißaggregat 71
 Schweißbarkeit 29
 Schweißbereichsdiagramm 357
 Schweißbolzen 106
 Schweißeignung 29
 Schweißen 17
 Schweißen durch festen Körper 509
 Schweißen mit magnetisch bewegten
 Lichtbogen 271
 Schweißen mit Metallschmelzen 512
 Schweißerlaubnisschein 59
 Schweißfolgepläne 45
 Schweißgut 17
 Schweißmöglichkeit 29
 Schweißnahtwertigkeit 44
 Schweißpositionen 320
 Schweißpulver 103
 - zum ES-Schweißen 409
 - zum PTA-Schweißen 105
 - zum UP-Schweißen 105, 229
 Schweißsicherheit 29
 Schweißstäbe 96
 Schweißstromquellen 71
 Schweißtransformator 72
 Schweißzone 17
 Sekundär getaktete Stromquelle 75
 S-Entwickler 304
 SF-Entwickler 304
 Sicherheitswasservorlage 315
 Skin-Effekt 400
 Slab-Laser 450
 Slope Control 432
 Spaltüberbrückbarkeit 319
 Sprühlichtbogen 200
 Stabelektrode 92
 Stabelektronen 115

Stabelektrodenhalter 82

Stahlflaschen 305

Statische Kennlinien von
Schweißstromquellen 76

Steurelektroden 422

Steuerspannung 422

Stirnrollenantrieb 88

Strahlführungssysteme 452

Strahlintensitäten 453, 455

Strahlparameterprodukt 458

Strahlpendeln 434

Strahlqualität 453

Strahlqualitätszahl 458

Strahlstrom 422

Strahltaillenradius 458

Strahlungseinkopplung 460

Streckenenergie 52

Strukturspannungskonzept 43

Stufengeschalteter Schweiß-
gleichrichter 73

Systeme 454

SZTU-Schaubilder 35

T

Taktile Sensoren 282

Tandemschweißen 252

Technische Regeln für Acetylenanlagen
und Calciumcarbidlager (TRAC)
311

Temperaturverteilung 292

Thermische Energie 17

Thermokompressionsschweißen
509

Thermopulsen 211

Thyristorstromquelle 74

Tiefschweißeffekt 176

Totalreflexion 453

Trockensicherungen 315

Tropfenablösung 203

U

Übergangslichtbogen 200

Ultraschallschweißen 495

Umhüllungstypen von Stabelektroden
93

Umlenkspiegel 452

Umweltmanagementsystem 62

Unfallverhütungsvorschriften 59

Unlösbare Verbindungen 19

Unregelmäßigkeiten 56

Unterpulverschweißen 227

UP-Bandelektrodenschweißen 253

UP-Doppeldrahtschweißen 249

UP-Eindrahtschweißen 249

UP-Engspaltschweißen 256

UP-Heißdrahtschweißen 254

UP-Kaltdrahtschweißen 254

UP-Mehrdrahtschweißen 252

UP-Quernahtschweißen 257

UP-Schweißen mit Metallpulverzugabe

254

V

Verbindungselement 16

Verbrennung 291

Verunreinigungen 32

W

Wärme 17

Wärmeeinflusszone (WEZ) 17

Warmpressschweißen 509

Wellenlänge 458

Werkstoffübergang 202

Werkstückdicken 320

Widerstandspunktschweißen
339

- Dreiblech-Schweißen 361

- einseitig 361

WIG-Auftragschweißen 146

WIG-Engspaltschweißen 145

WIG-Heißdrahtschweißen 142

WIG-Impulsstromschweißen 139

WIG-Kaltdrahtschweißen 142

WIG-Kilohertz-Pulsen 136

WIG-Mehrkathodenbrenner 147

WIG-Orbitalschweißen 143

WIG-Punktschweißen 145

WIG-Schweißbrenner 83

Wire Arc Additive Manufacturing
(WAAM) 217

Wirkpaarungen 20

Wirkungsgrad 52, 446

Wolframelektrode 83, 133, 164

Wolfram-Inertgasschweißen 129

Wurzelschutz 150, 186

Z

Zusatzwerkstoff 16