

Inhalt

Vorwort	5	3	Schweißen mit Lichtbogen	64	
1	Grundlagen	15	3.1	Grundlagen der Lichtbogentechnik	64
1.1	Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580.....	15	3.1.1	Physik des Lichtbogens	64
1.2	Fügen durch Schweißen	17	3.1.2	Zünden des Lichtbogens	67
1.3	Wirkprinzipien beim Schweißen.....	19	3.1.3	Betrieb des Lichtbogens	68
2	Schweißbarkeit	29	3.2	Schweißstromquellen zum Lichtbogen- schweißen	70
2.1	Grundlagen und Einteilung	29	3.2.1	Überblick	70
2.2	Schweißneigung von Stählen	31	3.2.2	Schweißumformer	70
2.3	Schweißsicherheit	36	3.2.3	Schweißtransformatoren.....	71
2.3.1	Konstruktive Gestaltung	37	3.2.4	Schweißgleichrichter	72
2.3.2	Beanspruchungszustand.....	40	3.2.5	Schweißumrichter	75
2.3.3	Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen.	40	3.2.6	Statische Kennlinien von Schweißstromquellen	75
2.3.4	Anwendung von Finite- Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke.....	43	3.2.7	Dynamische Eigenschaften von Schweißstromquellen.....	76
2.4	Schweißmöglichkeit	44	3.2.8	Regelungsprinzipien zur Arbeitspunktstabilisierung ..	77
2.4.1	Grundlagen.....	44	3.2.9	Modulationsarten bei Impulsstromquellen.....	78
2.4.2	Vorbereitungen zum Schweißen.....	45	3.2.10	Angaben auf dem Leistungs- schild	79
2.4.3	Durchführung des Schweißens.....	47	3.3	Schweißbrenner zum Lichtbogen- schweißen	81
2.4.4	Nacharbeiten beim Schweißen.....	55	3.3.1	Stabelektrodenhalter	81
2.4.5	Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen.....	55	3.3.2	Stromkontakteinrichtung zum UP-Schweißen	81
2.5	Qualitätssicherung beim Schweißen	56	3.3.3	Schweißbrenner mit nichtab- schmelzender Elektrode.....	82
2.6	Arbeitsschutz beim Schweißen.....	59	3.3.4	Schweißbrenner mit abschmelzender Elektrode ...	84
2.7	Schweißen im Produkt, Umwelt- und Energiemanagement.....	60	3.3.5	Bolzenschweißpistolen	85
			3.4	Drahtvorschubsysteme zum Lichtbogen- schweißen	86
			3.4.1	Grundaufbau	86
			3.4.2	Stirnrollenantrieb.....	86
			3.4.3	Planetarantrieb.....	88

3.4.4	Bauformen mit potenzialführender Drahtelektrode.....	88	3.7.3.4	Schweißparameter.....	123
3.4.5	Bauformen mit nicht potenzialführender Drahtelektrode.....	89	3.7.4	Fehler beim Lichtbogenhandschweißen.....	124
3.4.6	Drahttrichteinheiten.....	90	3.7.4.1	Häufige Ursachen und Fehlerbilder.....	124
3.5	<i>Zusatzwerkstoffe zum Lichtbogenschweißen.....</i>	90	3.7.4.2	Poren.....	124
3.5.1	Stabelektroden.....	90	3.7.4.3	Schlackeeinschlüsse.....	126
3.5.2	Schweißstäbe.....	93	3.7.4.4	Bindefehler.....	126
3.5.3	Massivdrahtelektroden.....	95	3.7.4.5	Geometrische Unregelmäßigkeiten.....	126
3.5.4	Fülldrahtelektroden.....	98	3.7.5	Gefährdungen für den Schweißer.....	127
3.5.5	Schweißpulver zum UP-Schweißen.....	101	3.8	<i>Wolfram-Inertgasschweißen (Prozess 141).....</i>	127
3.5.6	Schweißpulver zum Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PTA).....	104	3.8.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	128
3.5.7	Schweißbolzen.....	104	3.8.1.1	Funktionsweise.....	128
3.6	<i>Gase zum Lichtbogenschweißen.....</i>	105	3.8.1.2	Schutzgase.....	129
3.6.1	Aufgaben von Schutzgasen...	105	3.8.1.3	Wolframelektroden.....	132
3.6.2	Eigenschaften von Schutzgasen.....	106	3.8.1.4	Zusatzwerkstoff.....	134
3.6.3	Einteilung und Bezeichnung von Schutzgasen.....	107	3.8.1.5	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	134
3.6.4	Herstellung von Schutzgasen.....	107	3.8.2	Verfahrensvarianten.....	135
3.6.5	Lieferarten und Entnahmestellen.....	109	3.8.2.1	Zünden des Lichtbogens.....	135
3.6.6	Kennzeichnung von Druckgasflaschen.....	110	3.8.2.2	Stromart und Polarität.....	136
3.7	<i>Lichtbogenhandschweißen (Prozess 111).....</i>	111	3.8.2.3	Mechanisierungsgrad.....	139
3.7.1	Verfahrensprinzipien und Anlagentechnik.....	111	3.8.2.4	WIG-Schweißen mit Zusatzwerkstoff.....	139
3.7.1.1	Funktionsweise.....	111	3.8.3	Anwendung.....	141
3.7.1.2	Schweißstromquellen.....	112	3.8.3.1	Verbindungsschweißen.....	141
3.7.1.3	Elektrodenhalter.....	112	3.8.3.2	Reparaturschweißen.....	141
3.7.1.4	Stabelektroden.....	112	3.8.3.3	WIG-Orbitalschweißen.....	141
3.7.2	Anwendung.....	117	3.8.3.4	WIG-Punktschweißen.....	142
3.7.2.1	Allgemeines.....	117	3.8.3.5	WIG-Engspaltschweißen.....	143
3.7.2.2	Reparaturschweißen.....	118	3.8.3.6	WIG-Auftragschweißen.....	145
3.7.2.3	Auftragschweißen.....	118	3.8.3.7	Sonderanwendungen.....	145
3.7.2.4	Verbindungsschweißen.....	118	3.8.4	Fertigungshinweise.....	146
3.7.3	Fertigungshinweise.....	118	3.8.4.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung.....	146
3.7.3.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung.....	118	3.8.4.2	Zündvorgang.....	146
3.7.3.2	Zündvorgang.....	120	3.8.4.3	Brennerführung.....	147
3.7.3.3	Führen der Elektrode.....	121	3.8.4.4	Heften.....	147
			3.8.4.5	Gasschutz.....	148
			3.8.4.6	Richtwerte.....	149
			3.8.5	Fehler beim WIG-Schweißen.....	150
			3.8.5.1	Gaseinschlüsse.....	150
			3.8.5.2	Bindefehler.....	151

3.8.5.3	Wolframeinschlüsse.....	151	3.10	<i>Metall-Schutzgasschweißen (Prozess 13)</i>	188
3.8.5.4	Oxideinschlüsse	151	3.10.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	189
3.8.5.5	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	152	3.10.1.1	Funktionsweise.....	189
3.8.6	Gefährdungen für den Schweißer	154	3.10.1.2	Schutzgase.....	190
3.9	<i>Plasmaschweißen (Prozess 15)</i>	155	3.10.1.3	Zusatzwerkstoff	194
3.9.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	156	3.10.1.4	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	194
3.9.1.1	Funktionsweise.....	156	3.10.2	Lichtbogenarten.....	196
3.9.1.2	Prozess- und Schutzgase.....	159	3.10.2.1	Allgemein	196
3.9.1.3	Wolframelektroden	162	3.10.2.2	Kurzlichtbogen	196
3.9.1.4	Zusatzwerkstoff	164	3.10.2.3	Übergangslichtbogen.....	197
3.9.1.5	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	165	3.10.2.4	Sprühlichtbogen	197
3.9.2	Verfahrensvarianten	168	3.10.2.5	Impulslichtbogen.....	197
3.9.2.1	Zünden des Lichtbogens	168	3.10.2.6	Hochleistungs-Kurz- lichtbogen	198
3.9.2.2	Stromart und Polarität.....	168	3.10.2.7	Instabiler Lichtbogen.....	198
3.9.2.3	Mechanisierungsgrad.....	172	3.10.2.8	Rotierender Lichtbogen	198
3.9.2.4	Plasmaschweißen mit Zusatzwerkstoff	172	3.10.2.9	Hochleistungs-Sprüh- lichtbogen	199
3.9.2.5	Schmelzbadausbildung	174	3.10.2.10	Kräfte beim Werkstoff- übergang.....	199
3.9.3	Anwendung	175	3.10.3	Verfahrensvarianten	201
3.9.3.1	Verbindungsschweißen	175	3.10.3.1	Hochleistungsschweißen.....	201
3.9.3.2	Plasma-Punktschweißen	175	3.10.3.2	Energiereduzierte MSG- Prozesse	205
3.9.3.3	Plasma-Auftragschweißen	177	3.10.3.3	Modifizierte MSG- Impulsprozesse.....	207
3.9.3.4	Mikroplasmaschweißen	178	3.10.3.4	MSG-Hybridprozesse.....	209
3.9.4	Fertigungshinweise.....	179	3.10.3.5	Zünden des Lichtbogens	210
3.9.4.1	Allgemeines.....	179	3.10.3.6	Mechanisierungsgrad.....	211
3.9.4.2	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	180	3.10.4	Anwendung	211
3.9.4.3	Zündvorgang	180	3.10.4.1	Verbindungsschweißen	211
3.9.4.4	Brennerführung	181	3.10.4.2	MSG-Engspaltschweißen.....	212
3.9.4.5	Heften.....	182	3.10.4.3	MSG-Auftragschweißen.....	213
3.9.4.6	Gasschutz	182	3.10.4.4	Sonderanwendungen	214
3.9.4.7	Richtwerte	183	3.10.5	Fertigungshinweise.....	215
3.9.5	Fehler beim Plasma- schweißen.....	185	3.10.5.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	215
3.9.5.1	Gaseinschlüsse	185	3.10.5.2	Zündvorgang	216
3.9.5.2	Nahtunterwölbung	186	3.10.5.3	Brennerführung	216
3.9.5.3	Einbrandkerben.....	186	3.10.5.4	Heften.....	218
3.9.5.4	Oxideinschlüsse	186	3.10.5.5	Gasschutz	218
3.9.5.5	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	186	3.10.5.6	Richtwerte	219
3.9.6	Gefährdungen für den Schweißer	186	3.10.6	Fehler beim MSG-Schweißen	220
			3.10.6.1	Gaseinschlüsse	220
			3.10.6.2	Bindefehler	221

3.10.6.3	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	222	3.12	<i>Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen</i>	263
3.10.7	Gefährdungen für den Schweißer	222	3.12.1	Grundlagen.....	263
3.11	<i>Unterpulverschweißen (Prozess 12)</i>	224	3.12.2	Pressstumpfschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (Prozess 185).....	264
3.11.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	224	3.12.2.1	Verfahrensprinzip	264
3.11.1.1	Funktionsweise.....	224	3.12.2.2	Anwendungsbereiche	264
3.11.1.2	Schweißpulver	226	3.12.2.3	Ausrüstungen.....	264
3.11.1.3	Elektroden	241	3.12.2.4	Zusatzstoffe	265
3.11.1.4	Stromquellen und Brennertechnik	242	3.12.2.5	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	265
3.11.1.5	Stromart und Polung	242	3.12.2.6	Fertigungshinweise	265
3.11.1.6	Mechanisierungsgrad und Aufbau einer UP-Anlage.....	243	3.12.3	Schmelzschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBS-Schweißen)	266
3.11.2	Verfahrensvarianten des Unterpulverschweißens	245	3.12.3.1	Verfahrensprinzip	266
3.11.2.1	Schweißpositionen	245	3.12.3.2	Anwendungsbereiche	266
3.11.2.2	Kaltdrahtschweißen.....	246	3.12.3.3	Zusatzstoffe	266
3.11.2.3	Bandschweißen.....	246	3.12.3.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	266
3.11.2.4	Heißdrahtschweißen mit zwei Schweißköpfen.....	248	3.12.3.5	Fertigungshinweise.....	266
3.11.2.5	Paralleldrahtschweißen.....	248	3.13	<i>Lichtbogenbolzenschweißen</i>	267
3.11.2.6	Tandemschweißen.....	249	3.13.1	Grundlagen.....	267
3.11.2.7	Engspaltschweißen	250	3.13.2	Verfahrensprinzip.....	268
3.11.2.8	Schweißen mit Metallpulverzugabe	252	3.13.2.1	Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Hubzündung (Prozess 785) ..	268
3.11.3	Anwendung des UP-Verfahrens	252	3.13.2.2	Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung (Prozess 786)	268
3.11.4	Fertigungshinweise.....	253	3.13.2.3	Hubzündungs-Bolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas (Prozess 783)	269
3.11.4.1	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	253	3.13.3	Anwendungsbereiche	270
3.11.4.2	Fugenvorbereitung.....	253	3.13.4	Zusatzstoffe	270
3.11.4.3	Schmelzbad Sicherungen	255	3.13.5	Fertigungshinweise.....	270
3.11.4.4	Nahtformung.....	256	3.13.6	Ausrüstungen.....	272
3.11.4.5	Freie Drahtelektrodenlänge..	257	3.14	<i>Sensorik beim Lichtbogenschweißen</i>	273
3.11.4.6	Werkstückneigung	258	3.14.1	Überblick	273
3.11.4.7	Zünden des UP-Lichtbogens.	259	3.14.2	Taktile Sensoren	274
3.11.4.8	Heften.....	259	3.14.3	Elektromagnetische Sensoren	275
3.11.4.9	Richtwerte	259	3.14.4	Lasersensoren.....	276
3.11.4.10	Leistungsvergleiche	262	3.14.5	Lichtbogensensoren.....	277
3.11.5	Fehler beim UP-Schweißen...	262			
3.11.6	Spezielle Gefährdungen durch das UP-Verfahren für den Bediener	263			

3.15	<i>Gefährdungen beim Lichtbogenschweißen</i>	279	4.3.2.4	Werkstückdicken.....	312
3.15.1	Elektrischer Strom.....	279	4.3.3	Ausrüstung.....	312
3.15.2	Elektromagnetische Strahlung.....	280	4.3.4	Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe.....	315
3.15.3	Rauch, Stäube und Gase.....	281	4.3.5	Technologische Merkmale	317
3.15.4	Sauerstoffmangel.....	282	4.3.5.1	Nachrechtsschweißen (NR)...	317
3.15.5	Spritzer und Schlacke.....	282	4.3.5.2	Nachlinksschweißen (NL)....	318
3.15.6	Druckgasflaschen.....	282	4.4	<i>Gaspressschweißen (Prozess 47)</i>	318
4	Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme	283	4.4.1	Verfahrensprinzip.....	319
4.1	<i>Grundlagen der Autogentechnik</i>	283	4.4.2	Anwendungsbereiche	320
4.1.1	Autogenflamme.....	283	4.4.3	Zusatzstoffe	320
4.1.1.1	Allgemeines.....	283	4.4.4	Fertigungshinweise.....	320
4.1.1.2	Verbrennung	284	4.4.5	Ausrüstungen.....	321
4.1.1.3	Flammeneinstellung	285	5	Schweißen mit Widerstandserwärmung	322
4.1.2	Autogenbrenner.....	287	5.1	<i>Einteilung der Widerstandsschweißverfahren</i>	322
4.1.2.1	Allgemeines.....	287	5.2	<i>Widerstandspressschweißen (Prozess 2)</i> ..	323
4.1.2.2	Brennerarten.....	288	5.2.1	Grundlagen des Widerstandspressschweißens.....	323
4.1.2.3	Betreiben der Autogenbrenner	291	5.2.1.1	Widerstandserwärmung durch konduktive Stromübertragung	323
4.1.2.4	Flammenstörungen.....	291	5.2.1.2	Widerstandserwärmung durch induktive Stromübertragung (Prozess 74).....	324
4.1.3	Betriebsmittel der Autogentechnik	292	5.3	<i>Ausrüstungen zum Widerstandspressschweißen</i>	324
4.1.3.1	Allgemeines.....	292	5.3.1	Aufbau einer Widerstandsschweißmaschine (konduktive Stromübertragung)..	324
4.1.3.2	Sauerstoff.....	292	5.3.1.1	Schweißstromquellen für das Punkt-, Rollennaht- und Buckelschweißen.....	325
4.1.3.3	Brenngase.....	292	5.3.1.2	Schweißstromquellen für das Abtrennstumpfschweißen und Stumpfschweißen	329
4.1.3.4	Gegenüberstellung von Gasen der Autogentechnik ...	302	5.3.1.3	Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen	330
4.1.4	Sicherheitshinweise und -vorschriften für den Umgang mit Sauerstoff und Brenngasen	303	5.3.2	Aufbau einer Widerstandsschweißmaschine (induktive Stromübertragung)	330
4.1.5	Armaturen und Zubehör	304	5.4	<i>Widerstandsschweißverfahren mit konduktiver Stromübertragung</i>	331
4.1.5.1	Allgemeines.....	304			
4.1.5.2	Druckminderer	304			
4.1.5.3	Gasschläuche	305			
4.1.5.4	Sicherheitseinrichtungen	307			
4.2	<i>Einteilung der Verfahren der Autogentechnik nach DIN 8522</i>	309			
4.3	<i>Gasschmelzschweißen (Gasschweißen)</i> ...	309			
4.3.1	Grundlagen.....	309			
4.3.2	Anwendung	312			
4.3.2.1	Allgemeines.....	312			
4.3.2.2	Fugenformen.....	312			
4.3.2.3	Schweißpositionen	312			

5.4.1	Widerstandspunkt-		5.4.4.6	Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren..	383
	schweißen (Prozess 21).....	331	5.4.4.7	Schweißanlagen.....	384
5.4.1.1	Verfahrensmerkmale.....	331	5.4.5	Pressstumpfschweißen	
5.4.1.2	Verfahrensprinzip/-			(Prozess 25).....	385
	beschreibung.....	332	5.4.5.1	Verfahrensmerkmale.....	385
5.4.1.3	Elektroden	334	5.4.5.2	Verfahrensprinzip/	
5.4.1.4	Schweißbeignung	337		-beschreibung	385
5.4.1.5	Konstruktive Gestaltung	341	5.4.5.3	Konstruktive Gestaltung	386
5.4.1.6	Fertigungshinweise.....	344	5.4.5.4	Prozessparameter.....	386
5.4.1.7	Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren..	349	5.4.5.5	Schweißanlagen.....	386
5.4.1.8	Schweißanlagenaufbau.....	357	5.5	<i>Widerstandsschweißverfahren mit induktiver Stromübertragung.....</i>	387
5.4.1.9	Qualitätssicherungsgeräte....	359	5.5.1	Induktionsschweißen	
5.4.2	Rollennahtschweißen			(Prozess 74).....	387
	(Prozess 22).....	360	5.5.1.1	Verfahrensmerkmale.....	387
5.4.2.1	Verfahrensmerkmale.....	360	5.5.1.2	Verfahrensprinzip/-	
5.4.2.2	Verfahrensprinzip/-			beschreibung.....	387
	beschreibung.....	361	5.5.1.3	Schweißbeignung	389
5.4.2.3	Rollenelektroden für		5.5.1.4	Fertigungshinweise.....	389
	Nahtschweißen	361	5.5.2	Verfahrensvarianten.....	389
5.4.2.4	Schweißbeignung	362	5.6	<i>Arbeits- und Gesundheitsschutz.....</i>	390
5.4.2.5	Konstruktive Gestaltung	363	6	Widerstandsschmelzschweißen.....	391
5.4.2.6	Fertigungshinweise.....	363	6.1	<i>Grundlagen zum Elektroschlackeschweißen (Prozess 72).....</i>	391
5.4.2.7	Schweißanlagenaufbau.....	366	6.2	<i>Elektroschlacke-Verbindungsschweißen..</i>	392
5.4.2.8	Verfahrensvarianten.....	368	6.2.1	Zusatzwerkstoffe und Pulver	393
5.4.3	Buckelschweißen		6.2.2	Schweißbeignung	393
	(Prozess 23).....	369	6.2.3	Fertigungshinweise.....	393
5.4.3.1	Verfahrensmerkmale.....	369	6.2.4	Schweißeinrichtungen.....	394
5.4.3.2	Verfahrensprinzip/-		6.3	<i>Elektroschlacke-Auftragschweißen mit</i>	
	beschreibung.....	370		<i>Bandelektrode</i>	395
5.4.3.3	Elektroden zum Buckel-		6.3.1	Zusatzwerkstoffe und Pulver	395
	schweißen.....	370	6.3.2	Fertigungshinweise.....	395
5.4.3.4	Schweißbeignung	371	6.3.3	Schweißeinrichtungen.....	396
5.4.3.5	Konstruktive Gestaltung	373	7	Schweißen mit Strahlen	397
5.4.3.6	Fertigungshinweise.....	375	7.1	<i>Grundlagen der Strahltechnik</i>	397
5.4.3.7	Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren..	376	7.2	<i>Lichtstrahlschweißen - Schweißen mit inkohärentem Licht (Prozess 75)</i>	398
5.4.3.8	Schweißanlagen.....	376	7.3	<i>Elektronenstrahlschweißen (Prozess 51).</i>	399
5.4.4	Abtrennstumpfschweißen		7.3.1	Grundlagen des Elektronenstrahlschweißens.....	400
	(Prozess 24).....	378	7.3.1.1	Entstehung und Besonderheiten des Elektronenstrahls	400
5.4.4.1	Verfahrensmerkmale	378	7.3.1.2	Elektronenstrahlerzeugung..	401
5.4.4.2	Verfahrensprinzip/-				
	beschreibung.....	380			
5.4.4.3	Schweißbeignung	380			
5.4.4.4	Konstruktive Gestaltung	381			
5.4.4.5	Prozessparameter.....	383			

7.3.1.3	Elektronenstrahlführung	402			
7.3.1.4	Elektronenstrahlschweiß- anlagen.....	403			
7.3.2	Anwendung des Elektronen- strahlschweißens.....	407	8	Schweißen durch Bewegungsenergie	452
7.3.2.1	Tiefschweißeffekt	407	8.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung kinetischer Energie.....</i>	452
7.3.2.2	Vorbereitung der Werk- stücke	409	8.2	<i>Rotationsreibschweißen (Prozess 42).....</i>	452
7.3.2.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweiß- praxis	411		8.2.1 Verfahrensprinzip.....	453
7.3.2.4	Schweißbeignung metal- lischer Werkstoffe	415		8.2.2 Ausrüstungen.....	454
7.3.2.5	Industrielle Anwendung	418		8.2.3 Anwendungsbereich	455
7.3.3	Weitere Verfahren der Elektronen- strahlmaterialbearbeitung....	419	8.3	8.2.4 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	455
7.3.4	Strahlenschutz.....	420		8.2.5 Fertigungshinweise.....	457
7.4	Laserstrahlschweißen (Prozess 52).....	420		8.3 <i>Rührreibschweißen (FSW – Friction Stir Welding)</i>	459
7.4.1	Grundlagen des Laserstrahl- schweißens	423		8.3.1 Verfahrensprinzip.....	459
7.4.1.1	Entstehung und Besonder- heiten von Laserlicht	423		8.3.2 Ausrüstungen.....	460
7.4.1.2	Eigenschaften des Laser- lichts	424		8.3.3 Anwendungsbereiche	461
7.4.2	Laseranlagen	425	8.4	8.3.4 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	462
7.4.2.1	Laserstrahlquellen	425		8.3.5 Fertigungshinweise.....	463
7.4.2.2	Laserstrahlführung.....	432		8.3.6 Punktreibschweißen	464
7.4.2.3	Fokussierende Optiken.....	433		8.3.6.1 Verfahrensprinzip.....	464
7.4.2.4	Bewegungseinrichtungen	434		8.3.6.2 Anwendungsbereiche	464
7.4.2.5	Steuerung und Bedienung....	434		8.4 <i>Ultraschallschweißen (Prozess 41)</i>	465
7.4.3	Anwendung des Laserstrahl- schweißens	435		8.4.1 Verfahrensprinzip.....	465
7.4.3.1	Tiefschweißeffekt	435	8.5	8.4.2 Anwendungsbereiche	466
7.4.3.2	Vorbereitung der Werk- stücke	436		8.4.3 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	467
7.4.3.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweiß- praxis	436		8.4.4 Fertigungshinweise.....	467
7.4.3.4	Schweißbeignung metal- lischer Werkstoffe	442	8.6	8.4.5 Ausrüstungen.....	468
7.4.3.5	Industrielle Anwendung	443		8.5 <i>Kaltpressschweißen (Prozess 48).....</i>	469
7.4.4	Weitere Verfahren der Lasermaterialbearbeitung	445		8.5.1 Verfahrensprinzip.....	469
7.4.5	Strahlenschutz.....	447		8.5.2 Anwendungsbereich und Ausrüstungen.....	470
				8.5.3 Konstruktive Gestaltung	470
				8.5.4 Fertigungshinweise.....	471
				8.6 <i>Sprengschweißen (Prozess 441).....</i>	472
				8.6.1 Verfahrensprinzip.....	472
				8.6.2 Anwendungsbereich	472
				8.6.3 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	474
				8.6.4 Fertigungshinweise.....	474
				8.6.5 Spezielle Gefährdungen.....	474
				7.4.6 Gegenüberstellung Elektronenstrahlschweißen - Laserstrahlschweißen	449

9	Schweißen durch festen Körper.....	475	10.2.1.3	Ausrüstungen.....	479
9.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung von Heizelementen</i>	475	10.2.1.4	Fertigungshinweise.....	480
9.2	<i>Heizelementschweißen.....</i>	475	10.2.2	Aluminothermisches Pressschweißen	481
9.2.1	Verfahrensprinzip	475	10.2.2.1	Verfahrensprinzip	481
9.2.2	Anwendungsbereich, Ausrüstungen.....	476	10.2.2.2	Anwendungsbereich	481
9.2.3	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	477	10.2.2.3	Fertigungshinweise.....	481
9.2.4	Fertigungshinweise.....	477	10.3	<i>Besondere Gefährdungen.....</i>	482
10	Schweißen mit Metallschmelzen	478	11	Schweißen durch Diffusion.....	483
10.1	<i>Grundlagen der schweißtechnischen Nutzung von Metallschmelzen</i>	478	11.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung der Diffusion</i>	483
10.2	<i>Gießschweißen (Thermitschweißen).....</i>	478	11.2	<i>Diffusionsschweißen (Prozess 45).....</i>	483
10.2.1	Aluminothermisches Schmelzschweißen (Prozess 71).....	478	11.2.1	Verfahrensprinzip	484
10.2.1.1	Verfahrensprinzip	478	11.2.2	Anwendungsbereich	485
10.2.1.2	Anwendungsbereich	479	11.2.3	Konstruktive Gestaltung	485
			11.2.4	Fertigungshinweise.....	485
				Literaturverzeichnis.....	488
				Sachwortverzeichnis	504