

Inhalt

Vorwort.....	5	3	Schweißen mit Lichtbogen	64
		3.1	Grundlagen der Lichtbogentechnik.....	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
2 Schweißbarkeit	29		3.2.1 Überblick	71
2.1 Grundlagen und Einteilung	29		3.2.2 Schweißumformer	71
2.2 Schweißeignung von Stählen	31		3.2.3 Schweißtransformatoren.....	72
2.3 Schweißsicherheit	36		3.2.4 Schweißgleichrichter	73
2.3.1 Konstruktive Gestaltung	37		3.2.5 Schweißumrichter	75
2.3.2 Beanspruchungszustand.....	40		3.2.6 Statische Kennlinien von Schweißstromquellen	76
2.3.3 Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen	40		3.2.7 Dynamische Eigenschaften von Schweißstromquellen.....	77
2.3.4 Anwendung von Finite- Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke.....	43		3.2.8 Regelungsprinzipien zur Arbeitspunktstabilisierung ..	78
2.4 Schweißmöglichkeit	44	3.3	3.2.9 Modulationsarten bei Impulsstromquellen	79
2.4.1 Grundlagen.....	44		3.2.10 Angaben auf dem Leistungs- schild	80
2.4.2 Vorbereitungen zum Schweißen.....	45		Schweißbrenner zum Lichtbogen- schweißen.....	82
2.4.3 Durchführung des Schweißens.....	47		3.3.1 Stabelektrodenhalter	82
2.4.4 Nacharbeiten beim Schweißen.....	55		3.3.2 Stromkontakteeinrichtung zum UP-Schweißen	83
2.4.5 Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen.....	55		3.3.3 Schweißbrenner mit nicht- abschmelzender Elektrode ..	83
2.5 Qualitätssicherung beim Schweißen	56	3.4	3.3.4 Schweißbrenner mit abschmelzender Elektrode ...	85
2.6 Arbeitsschutz beim Schweißen.....	59		3.3.5 Bolzenschweißpistolen	86
2.7 Schweißen im Produkt-, Umwelt- und Energiemanagement.....	60		Drahtvorschubsysteme zum Lichtbogenschweißen.....	87
			3.4.1 Grundaufbau	87
			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	Drahtrichteinheiten	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	Stabelektroden.....	92	3.7.4.3	Schlackeeinschlüsse	128
3.5.2	Schweißstäbe	96	3.7.4.4	Bindfehler.....	128
3.5.3	Massivdrahtelektroden	97	3.7.4.5	Geometrische Unregelmäßigkeiten.....	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> (Prozess 141)	129
3.5.6	Schweißpulver zum Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PTA).....	105	3.8.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	130
3.5.7	Schweißbolzen	106	3.8.1.1	Funktionsweise.....	130
3.6	<i>Gase zum Lichtbogenschweißen</i>	108	3.8.1.2	Schutzgase.....	131
3.6.1	Aufgaben von Schutzgasen...	108	3.8.1.3	Wolframelektroden	133
3.6.2	Eigenschaften von Schutzgasen	108	3.8.1.4	Zusatzwerkstoff	135
3.6.3	Einteilung und Bezeichnung von Schutzgasen.....	109	3.8.1.5	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	136
3.6.4	Herstellung von Schutzgasen	111	3.8.2	Verfahrensvarianten	137
3.6.5	Lieferarten und Entnahmestellen.....	111	3.8.2.1	Zünden des Lichtbogens	137
3.6.6	Kennzeichnung von Druckgasflaschen.....	112	3.8.2.2	Stromart und Polarität.....	138
3.7	<i>Lichtbogenhandschweißen (Prozess 111)</i>	113	3.8.2.3	Mechanisierungsgrad.....	141
3.7.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	113	3.8.2.4	WIG-Schweißen mit Zusatzwerkstoff	142
3.7.1.1	Funktionsweise.....	113	3.8.3	Anwendung	143
3.7.1.2	Schweißstromquellen	114	3.8.3.1	Verbindungsschweißen	143
3.7.1.3	Elektrodenhalter.....	115	3.8.3.2	Reparaturschweißen	143
3.7.1.4	Stabelektroden.....	115	3.8.3.3	WIG-Orbitalschweißen	143
3.7.2	Anwendung	120	3.8.3.4	WIG-Punktschweißen	145
3.7.2.1	Allgemeines.....	120	3.8.3.5	WIG-Engspaltschweißen	145
3.7.2.2	Reparaturschweißen	120	3.8.3.6	WIG-Auftragschweißen	146
3.7.2.3	Auftragschweißen	120	3.8.3.7	Sonderanwendungen	147
3.7.2.4	Verbindungsschweißen	120	3.8.4	Fertigungshinweise.....	147
3.7.3	Fertigungshinweise.....	120	3.8.4.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	147
3.7.3.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	120	3.8.4.2	Zündvorgang	148
3.7.3.4	Zündvorgang	121	3.8.4.3	Brennerführung	149
3.7.3.5	Führen der Elektrode.....	123	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	Bindfehler	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	3.11.6	Gefährdungen für den Schweißer	271
3.11.1.1	Funktionsweise.....	228	3.12	<i>Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen</i>	271
3.11.1.2	Schweißpulver	229	3.12.1	Grundlagen.....	272
3.11.1.3	Elektroden	244	3.12.2	Pressstumpfschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (Prozess 185).....	272
3.11.1.4	Stromquellen und Brenner-technik	246	3.12.2.1	Verfahrensprinzip	272
3.11.1.5	Mechanisierungs-einrichtungen	248	3.12.2.2	Anwendungsbereiche	272
3.11.2	Verfahrensvarianten des Unterpulverschweißens	249	3.12.2.3	Ausrüstungen.....	273
3.11.2.1	Überblick	249	3.12.2.4	Zusatzstoffe	273
3.11.2.2	UP-Eindrahtschweißen	249	3.12.2.5	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	273
3.11.2.3	UP-Doppeldrahtschweißen ...	249	3.12.2.6	Fertigungshinweise.....	273
3.11.2.4	UP-Tandemschweißen	252	3.12.3	Schmelzschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBS-Schweißen)	274
3.11.2.5	UP-Mehrdrahtschweißen	252	3.12.3.1	Verfahrensprinzip	274
3.11.2.6	UP-Bandschweißen	253	3.12.3.2	Anwendungsbereiche	274
3.11.2.7	UP-Kaltdrahtschweißen.....	254	3.12.3.3	Zusatzstoffe	274
3.11.2.8	UP-Heißdrahtschweißen.....	254	3.12.3.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	274
3.11.2.9	UP-Schweißen mit Metall-pulverzugabe.....	254	3.12.3.5	Fertigungshinweise.....	275
3.11.3	Anwendung des UP-Verfahrens	255	3.13	<i>Lichtbogenbolzenschweißen</i>	275
3.11.3.1	Überblick	255	3.13.1	Grundlagen.....	276
3.11.3.2	Verbindungsschweißen	255	3.13.2	Verfahrensprinzip	276
3.11.3.3	UP-Auftragschweißen	255	3.13.2.1	Kondensatorenentladungs-Bolzenschweißen mit Hubzündung (Prozess 785) ..	276
3.11.3.4	UP-Engspaltschweißen	256	3.13.2.2	Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung (Prozess 786)	276
3.11.3.5	UP-Quernahtschweißen.....	257	3.13.2.3	Hubzündungs-Bolzen-schweißen mit Keramikring oder Schutzgas (Prozess 783)	276
3.11.3.6	Verfahrensvergleich.....	258	3.13.3	Anwendungsbereiche	277
3.11.4	Fertigungshinweise.....	258	3.13.4	Zusatzstoffe	278
3.11.4.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	258			
3.11.4.2	Schmelzbadssicherung	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			

			Inhalt	11			
3.14	3.13.5	Fertigungshinweise.....	279	4.1.5.3	Gasschläuche	312	
	3.13.6	Ausrüstungen.....	279	4.1.5.4	Sicherheitseinrichtungen	314	
	<i>Sensorik beim Lichtbogenschweißen.....</i>	<i>281</i>	4.2	<i>Einteilung der Verfahren der Autogentechnik nach DIN 8522.....</i>	<i>316</i>		
	3.14.1	Überblick	281	<i>Gasschmelzschweißen (Prozess 31)</i>	<i>317</i>		
	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	<i>Gefährdungen beim Lichtbogenschweißen.....</i>	<i>287</i>	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	Nachrichtsschweißen (NR)...	325	
3.15.6	Druckgasflaschen.....	290	4.4	4.3.5.2	Nachlinksschweißen (NL)....	327	
4	Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme	291	<i>Gaspressschweißen (Prozess 47).....</i>	<i>327</i>			
4.1	<i>Grundlagen der Autogentechnik.....</i>	<i>291</i>	4.4.1	Verfahrensprinzip	327		
	4.1.1	Autogenflamme.....	291	4.4.2	Anwendungsbereiche	328	
	4.1.1.1	Allgemeines.....	291	4.4.3	Zusatzstoffe	328	
	4.1.1.2	Verbrennung	291	4.4.4	Fertigungshinweise.....	328	
	4.1.1.3	Flammeneinstellung	293	4.4.5	Ausrüstungen.....	329	
	4.1.2	Autogenbrenner.....	295	5	Schweißen mit Widerstandserwärmung	330	
4.1.2.1	Allgemeines.....	295	<i>Einteilung der Widerstandsschweißverfahren</i>	<i>330</i>			
4.1.2.2	Brennerarten.....	295	5.1	Konduktives Widerstandsspressschweißen	331		
4.1.2.3	Betreiben der Autogenbrenner	297	5.2.1	Widerstandserwärmung durch konduktive Stromübertragung	331		
4.1.2.4	Flammenstörungen.....	299	5.2.2	Ausrüstungen zum konduktiven Widerstandsspressschweißen	332		
4.1.3	Betriebsmittel der Autogentechnik	299	5.2.2.1	Aufbau einer konduktiven Widerstandsschweißmaschine	332		
4.1.3.1	Allgemeines.....	299	5.2.2.2	Schweißstromquellen zum konduktiven Widerstandsspressschweißen	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	Widerstandspunktschweißen (Prozess 21).....	339		
4.1.3.4	Gegenüberstellung von Gasen der Autogentechnik	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	Schweißeignung	346	5.2.6.5	Konstruktive Gestaltung	389
5.2.3.6	Konstruktive Gestaltung	350	5.2.6.6	Fertigungshinweise.....	390
5.2.3.7	Fertigungshinweise.....	352	5.2.6.7	Qualitätssicherung.....	392
5.2.3.9	Prüfen der Schweiß- verbindung	359	5.2.6.8	Prüfen der Schweiß- verbindung	393
5.2.3.10	Verfahrensvarianten.....	361	5.2.7	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	<i>Induktives Hochfrequenz- schweißen (Prozess 743)</i> ..	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	<i>Induktives Stumpfschweißen</i> (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-Auftragschweißen	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	
5.4.3.5	Fertigungshinweise.....	415	6.4.3.3	Schweißeignungsparameter und Hinweise für die Schweißpraxis	456	
6	Schweißen mit Strahlen	417	6.4.3.4	Schweißeignung metallischer Werkstoffe	462	
6.1	<i>Grundlagen der Strahltechnik</i>	417	6.4.3.5	Industrielle Anwendung	464	
6.2	<i>Lichtstrahlschweißen – Schweißen mit inkohärentem Licht (Prozess 75)</i>	418	6.4.4	Weitere Verfahren der Lasermaterialbearbeitung	465	
6.3	<i>Elektronenstrahlschweißen (Prozess 51)</i>	419	6.4.4.1	Überblick	465	
	6.3.1	Grundlagen des Elektronenstrahlschweißens	420	6.4.4.2	Laserstrahlschneiden	466
	6.3.1.1	Entstehung und Besonderheiten des Elektronenstrahls	420	6.4.4.3	Additive Fertigung mit dem Laserstrahl	468
	6.3.1.2	Elektronenstrahlerzeugung	421	6.4.5	Strahlenschutz	473
	6.3.1.3	Elektronenstrahlführung	422	6.4.6	Gegenüberstellung Elektronenstrahlschweißen – Laserstrahlschweißen	474
	6.3.1.4	Elektronenstrahlschweißanlagen	423	7	Schweißen durch Bewegungsenergie	478
	6.3.2	Anwendung des Elektronenstrahlschweißens	427	7.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung kinetischer Energie</i>	478
	6.3.2.1	Tiefschweißeffekt	427	7.2	<i>Reibschweißen</i>	478
	6.3.2.2	Vorbereitung der Werkstücke	429	7.2.1	Rotationsreibschweißen (Prozess 42)	478
	6.3.2.3	Schweißeignungsparameter und Hinweise für die Schweißpraxis	431	7.2.1.1	Verfahrensprinzip	479
	6.3.2.4	Schweißeignung metallischer Werkstoffe	435			
	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	<i>Rührreibschweißen (Prozess 43).....</i>	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	<i>Ultraschallschweißen (Prozess 41).....</i>	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	<i>Kaltpressschweißen (Prozess 48).....</i>	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	<i>Sprengschweißen (Prozess 441).....</i>	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	<i>Magnetpulsschweißen (Prozess 442).....</i>	506			
7.7.1	Verfahrensprinzip.....	507			
7.7.2	Anwendungsbereich	507			
7.7.3	Spezielle Gefährdungen	508			