

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>Schweißen mit Lichtbogen</b> .....	<b>64</b>
<b>1 Grundlagen</b> .....	<b>15</b>	<b>3.1</b>	<i>Grundlagen der Lichtbogentechnik</i> .....	64
1.1 <i>Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580</i> .....	15	3.1.1	Physik des Lichtbogens.....	64
1.2 <i>Fügen durch Schweißen</i> .....	17	3.1.2	Zünden des Lichtbogens .....	67
1.3 <i>Wirkprinzipien beim Schweißen</i> .....	19	3.1.3	Betrieb des Lichtbogens .....	69
<b>2 Schweißbarkeit</b> .....	<b>29</b>	<b>3.2</b>	<i>Schweißstromquellen zum Lichtbogen-</i> <i>schweißen</i> .....	71
2.1 <i>Grundlagen und Einteilung</i> .....	29	3.2.1	Überblick .....	71
2.2 <i>Schweißneigung von Stählen</i> .....	31	3.2.2	Schweißumformer .....	71
2.3 <i>Schweißsicherheit</i> .....	36	3.2.3	Schweißtransformatoren.....	72
2.3.1 <i>Konstruktive Gestaltung</i> .....	37	3.2.4	Schweißgleichrichter .....	73
2.3.2 <i>Beanspruchungszustand</i> .....	40	3.2.5	Schweißumrichter .....	75
2.3.3 <i>Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen</i> .....	40	3.2.6	Statische Kennlinien von Schweißstromquellen .....	76
2.3.4 <i>Anwendung von Finite-Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke</i> .....	43	3.2.7	Dynamische Eigenschaften von Schweißstromquellen.....	77
2.4 <i>Schweißmöglichkeit</i> .....	44	3.2.8	Regelungsprinzipien zur Arbeitspunktstabilisierung ..	78
2.4.1 <i>Grundlagen</i> .....	44	3.2.9	Modulationsarten bei Impulsstromquellen .....	79
2.4.2 <i>Vorbereitungen zum Schweißen</i> .....	45	3.2.10	Angaben auf dem Leistungsschild .....	80
2.4.3 <i>Durchführung des Schweißens</i> .....	47	<b>3.3</b>	<i>Schweißbrenner zum Lichtbogen-</i> <i>schweißen</i> .....	82
2.4.4 <i>Nacharbeiten beim Schweißen</i> .....	55	3.3.1	Stabelektrodenhalter .....	82
2.4.5 <i>Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen</i> .....	55	3.3.2	Stromkontakteinrichtung zum UP-Schweißen .....	83
2.5 <i>Qualitätssicherung beim Schweißen</i> .....	56	3.3.3	Schweißbrenner mit nicht-abschmelzender Elektrode ...	83
2.6 <i>Arbeitsschutz beim Schweißen</i> .....	59	3.3.4	Schweißbrenner mit abschmelzender Elektrode ...	85
2.7 <i>Schweißen im Produkt-, Umwelt- und Energiemanagement</i> .....	60	3.3.5	Bolzenschweißpistolen .....	86
		<b>3.4</b>	<i>Drahtvorschubsysteme zum Lichtbogenschweißen</i> .....	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	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 (Prozess 141).....</i>	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 Entnahme- stellen.....	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	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 Brennerntechnik.....	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 Brennerntechnik.....	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 Plasma- schweißen.....	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 Brennertechnik .....	246	3.12.2	Pressstumpfschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (Prozess 185) .....	272
3.11.1.5	Mechanisierungseinrichtungen .....	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 Metallpulverzugabe .....	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	Kondensatorentladungs-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-Bolzenschweißen 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	<i>Sensorik beim Lichtbogenschweißen.....</i>	281	4.2	<i>Einteilung der Verfahren der Autogentechnik nach DIN 8522.....</i>	316
3.14.1	Überblick .....	281	4.3	<i>Gasschmelzschweißen (Prozess 31).....</i>	317
3.14.2	Taktile Sensoren.....	282	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>	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	Nachrechtsschweißen (NR)...	325
3.15.6	Druckgasflaschen.....	290	4.3.5.2	Nachlinksschweißen (NL).....	327
4	<b>Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme .....</b>	<b>291</b>	4.4	<i>Gaspressschweißen (Prozess 47).....</i>	327
4.1	<i>Grundlagen der Autogentechnik.....</i>	291	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	<b>Schweißen mit Widerstandserwärmung .....</b>	<b>330</b>
4.1.2.1	Allgemeines.....	295	5.1	<i>Einteilung der Widerstandsschweißverfahren .....</i>	330
4.1.2.2	Brennerarten.....	295	5.2	<i>Konduktives Widerstandspressschweißen .....</i>	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 Widerstandspressschweißen .....	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 Widerstandspressschweißen .....	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	Schweißbeignung .....	389
5.2.3.5	Schweißbeignung .....	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	Schweißbeignung .....	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	Schweißbeignung .....	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 Widerstandspressschweißen..</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	Schweißbeignung .....	379	5.3.3.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung .....	402
5.2.5.6	Konstruktive Gestaltung .....	380	5.3.3.3	Schweißbeignung .....	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	<i>Elektroschlackeschweißen (Prozess 72) ..</i>	406	6.3.3	Weitere Verfahren der Elektronenstrahlmaterial- bearbeitung .....	439
5.4.1	Grundlagen zum Elektro- schlackeschweißen .....	406	6.3.4	Strahlenschutz .....	440
5.4.2	Elektroschlacke- Verbindungsschweißen .....	407	6.4	<i>Laserstrahlschweißen (Prozess 52) .....</i>	441
5.4.2.1	Verfahrensprinzip/ -beschreibung .....	407	6.4.1	Grundlagen des Laserstrahl- schweißens .....	443
5.4.2.2	Schweißanlagenaufbau .....	408	6.4.1.1	Entstehung und Besonder- heiten von Laserlicht .....	443
5.4.2.3	Schweißpulver .....	409	6.4.1.2	Eigenschaften des Laser- lichts .....	445
5.4.2.4	Zusatzwerkstoff .....	410	6.4.2	Laseranlagen .....	445
5.4.2.5	Schweißbeignung .....	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-Auftrag- schweißen .....	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 Laserstrahl- schweißens .....	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 Werk- stücke .....	456
5.4.3.5	Fertigungshinweise .....	415	6.4.3.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweiß- praxis .....	456
6	<b>Schweißen mit Strahlen .....</b>	<b>417</b>	6.4.3.4	Schweißbeignung metal- lischer 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 Elektronen- strahlschweißens .....	420	6.4.4.2	Laserstrahlschneiden .....	466
6.3.1.1	Entstehung und Besonder- heiten des Elektronen- strahls .....	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 Elektronen- strahlschweißen - Laser- strahlschweißen .....	474
6.3.1.4	Elektronenstrahlschweiß- anlagen .....	423	7	<b>Schweißen durch Bewegungsenergie</b>	<b>478</b>
6.3.2	Anwendung des Elektronen- strahlschweißens .....	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 Werk- stücke .....	429	7.2.1	Rotationsreibschweißen (Prozess 42) .....	478
6.3.2.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweiß- praxis .....	431	7.2.1.1	Verfahrensprinzip .....	479
6.3.2.4	Schweißbeignung metal- lischer Werkstoffe .....	435			
6.3.2.5	Industrielle Anwendung .....	438			

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