

Inhalt

Vorwort	5	3	Schweißen mit Lichtbogen	64
1 Grundlagen	15	3.1	<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
2 Schweißbarkeit	29	3.2	<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>Schweißbeignung von Stählen</i>	31	3.2.2	Schweißumformer	71
2.3 <i>Schweißsicherheit</i>	36	3.2.3	Schweißtransformatoren.....	72
2.3.1 Konstruktive Gestaltung	37	3.2.4	Schweißgleichrichter	73
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	76
2.3.4 Anwendung von Finite-Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke.....	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 Grundlagen.....	44	3.2.9	Modulationsarten bei Impulsstromquellen	79
2.4.2 Vorbereitungen zum Schweißen.....	45	3.2.10	Angaben auf dem Leistungsschild	80
2.4.3 Durchführung des Schweißens.....	47	3.3	<i>Schweißbrenner zum Lichtbogen-</i> <i>schweißen</i>	82
2.4.4 Nacharbeiten beim Schweißen.....	55	3.3.1	Stabelektrodenhalter	82
2.4.5 Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen.....	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
		3.4	<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 Brenner技术.....	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 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 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	Schmelzbadabsicherung	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	Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme	291	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	Schweißen mit Widerstandserwärmung	330
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	Abtrennstumpfschweißen (Prozess 24).....	386			
5.2.6.1	Verfahrensmerkmale	386			

5.4	<i>Elektroschlackeschweißen (Prozess 72) ..</i>	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	<i>Laserstrahlschweißen (Prozess 52).....</i>	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	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-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
5.4.3.5	Fertigungshinweise.....	415	6.4.3.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis	456
6	Schweißen mit Strahlen	417	6.4.3.4	Schweißbeignung 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	Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis	431	7.2.1.1	Verfahrensprinzip	479
6.3.2.4	Schweißbeignung 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	<i>8.1</i>	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen</i>	
7.2.1.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	483	<i>8.2</i>	<i>Nutzung von Heizelementen</i>	509
7.2.1.5	Fertigungshinweise.....	484		<i>Heizelementschweißen.....</i>	509
7.2.1.6	Richtwerte	487	8.2.1	Verfahrensprinzip	509
7.2.2	Linearreibschweißen	487	8.2.2	Anwendungsbereich, Ausrüstungen	510
7.3	<i>Rührreibschweißen (Prozess 43).....</i>	489	8.2.3	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	511
7.3.1	Verfahrensprinzip.....	489	8.2.4	Fertigungshinweise.....	511
7.3.2	Ausrüstungen.....	490			
7.3.3	Anwendungsbereiche	491	9	Schweißen mit Metallschmelzen	512
7.3.4	Konstruktive Gestaltung 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 Schmelzschweißen (Prozess 71).....	512
7.3.6.2	Anwendungsbereiche	494	9.2.1.1	Verfahrensprinzip	512
7.4	<i>Ultraschallschweißen (Prozess 41)</i>	495	9.2.1.2	Anwendungsbereich	513
7.4.1	Verfahrensprinzip.....	495	9.2.1.3	Ausrüstungen.....	514
7.4.2	Ausrüstungen.....	496	9.2.1.4	Fertigungshinweise.....	514
7.4.3	Anwendungsbereiche	497	9.2.2	Aluminothermisches Pressschweißen	515
7.4.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	498	9.2.2.1	Verfahrensprinzip	515
7.4.5	Fertigungshinweise.....	498	9.2.2.2	Anwendungsbereich	515
7.5	<i>Kaltpressschweißen (Prozess 48)</i>	498	9.2.2.3	Fertigungshinweise.....	515
7.5.1	Verfahrensprinzip.....	500	9.3	<i>Besondere Gefährdungen.....</i>	516
7.5.2	Anwendungsbereich.....	501			
7.5.3	Konstruktive Gestaltung.....	502	10	Schweißen durch Diffusion.....	517
7.5.4	Fertigungshinweise	503	<i>10.1</i>	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen</i>	
7.6	<i>Sprengschweißen (Prozess 441).....</i>	503		<i>Nutzung der Diffusion</i>	517
7.6.1	Verfahrensprinzip.....	504	<i>10.2</i>	<i>Diffusionsschweißen (Prozess 45).....</i>	517
7.6.2	Anwendungsbereich	505	10.2.1	Verfahrensprinzip	518
7.6.3	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	505	10.2.2	Anwendungsbereich	519
7.6.4	Fertigungshinweise.....	506	10.2.3	Konstruktive Gestaltung	520
7.6.5	Spezielle Gefährdungen	506	10.2.4	Fertigungshinweise.....	520
7.7	<i>Magnetpulsschweißen (Prozess 442)</i>	506			
7.7.1	Verfahrensprinzip.....	507			
7.7.2	Anwendungsbereich	507			
7.7.3	Spezielle Gefährdungen	508			
				Literaturverzeichnis.....	523
				Sachwortverzeichnis	541