



Leseprobe

Schweißtechnik

Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen

Herausgegeben von Klaus-Jürgen Matthes, Werner Schneider

ISBN (Buch): 978-3-446-44561-1

ISBN (E-Book): 978-3-446-44554-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44561-1>

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,
- Schweißbeugung,
- 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 Fugestelle 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 systematische 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 vollständig überarbeiteten 5. Auflage dieses Buches haben neue, sehr fachkompetente Autoren mitgewirkt. In der nun vorliegenden 6. Auflage wurden in erster Linie Aktualisierungen von Normen, Fehlerkorrekturen sowie einige Ergänzungen vorgenommen.

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
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-		
2.1 Grundlagen und Einteilung	29	schweißen.....	70	
2.2 Schweißbeignung von Stählen	31	3.2.1 Überblick	70	
2.3 Schweißsicherheit	36	3.2.2 Schweißumformer	70	
2.3.1 Konstruktive Gestaltung.....	37	3.2.3 Schweißtransformatoren.....	71	
2.3.2 Beanspruchungszustand.....	40	3.2.4 Schweißgleichrichter	72	
2.3.3 Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen.	40	3.2.5 Schweißumrichter	75	
2.3.4 Anwendung von Finite-Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke.....	43	3.2.6 Statische Kennlinien von Schweißstromquellen	75	
2.4 Schweißmöglichkeit	44	3.2.7 Dynamische Eigenschaften von Schweißstromquellen.....	76	
2.4.1 Grundlagen.....	44	3.2.8 Regelungsprinzipien zur Arbeitspunktstabilisierung ..	77	
2.4.2 Vorbereitungen zum Schweißen.....	45	3.2.9 Modulationsarten bei Impulsstromquellen.....	78	
2.4.3 Durchführung des Schweißens.....	47	3.2.10 Angaben auf dem Leistungsschild	79	
2.4.4 Nacharbeiten beim Schweißen.....	55	3.3 Schweißbrenner zum Lichtbogenschweißen.....	81	
2.4.5 Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen.....	55	3.3.1 Stabelektrodenhalter	81	
2.5 Qualitätssicherung beim Schweißen	56	3.3.2 Stromkontakteinrichtung zum UP-Schweißen	81	
2.6 Arbeitsschutz beim Schweißen.....	59	3.3.3 Schweißbrenner mit nichtabschmelzender Elektrode.....	82	
2.7 Schweißen im Produkt-, Umwelt- und Energiemanagement	60	3.3.4 Schweißbrenner mit abschmelzender Elektrode ...	84	
		3.3.5 Bolzenschweißpistolen	85	
		3.4 Drahtvorschubsysteme zum Lichtbogenschweißen.....	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 Lichtbogenschweißen.....	124
3.4.6	Drahtrichteinheiten.....	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 Brenner-technik.....	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	Mikroplasma-schweißen	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 Brenner-technik	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	Schmelzbadsicherungen.....	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	Gefährdungen beim Licht- bogenschweißen.....	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	Gaspressschweißen (Prozess 47).....	318
4	Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff- Flamme	283	4.4.1	Verfahrensprinzip.....	319
4.1	Grundlagen der Autogentechnik.....	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	Einteilung der Widerstandsschweißverfahren	322
4.1.2.1	Allgemeines.....	287	5.2	Widerstandspressschweißen (Prozess 2) ..	323
4.1.2.2	Brennerarten.....	288	5.2.1	Grundlagen des Wider- standspressschweißens.....	323
4.1.2.3	Betreiben der Autogen- brenner	291	5.2.1.1	Widerstandserwärmung durch konduktive Strom- übertragung	323
4.1.2.4	Flammenstörungen.....	291	5.2.1.2	Widerstandserwärmung durch induktive Stromüber- tragung (Prozess 74).....	324
4.1.3	Betriebsmittel der Autogen- technik	292	5.3	Ausrüstungen zum Widerstandspressschweißen	324
4.1.3.1	Allgemeines.....	292	5.3.1	Aufbau einer Widerstands- schweißmaschine (kon- duktive Stromübertragung).. <td>324</td>	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 Abbrennstumpf- schweißen und Stumpf- schweißen	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 Widerstands- schweißmaschine (induktive Stromübertragung)	330
4.1.5	Armaturen und Zubehör.....	304	5.4	Widerstandsschweißverfahren mit konduktiver Stromübertragung.....	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	Einteilung der Verfahren der Autogentechnik nach DIN 8522.....	309			
4.3	Gasschmelzschweißen (Gasschweißen)...	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, Gütesi-	
	schweißen (Prozess 21).....	331		cherung und Prüfverfahren..	383
5.4.1.1	Verfahrensmerkmale.....	331	5.4.4.7	Schweißanlagen.....	384
5.4.1.2	Verfahrensprinzip/-		5.4.5	Pressstumpfschweißen	
	beschreibung.....	332		(Prozess 25).....	385
5.4.1.3	Elektroden.....	334	5.4.5.1	Verfahrensmerkmale.....	385
5.4.1.4	Schweißbeignung.....	337	5.4.5.2	Verfahrensprinzip/	
5.4.1.5	Konstruktive Gestaltung.....	341		-beschreibung.....	385
5.4.1.6	Fertigungshinweise.....	344	5.4.5.3	Konstruktive Gestaltung.....	386
5.4.1.7	Qualitätsmerkmale, Gütesi-		5.4.5.4	Prozessparameter.....	386
	cherung und Prüfverfahren..	349	5.4.5.5	Schweißanlagen.....	386
5.4.1.8	Schweißanlagenaufbau.....	357	5.5	<i>Widerstandsschweißverfahren mit</i>	
5.4.1.9	Qualitätssicherungsgeräte....	359		<i>induktiver Stromübertragung.....</i>	387
5.4.2	Rollennahtschweißen		5.5.1	Induktionsschweißen	
	(Prozess 22).....	360		(Prozess 74).....	387
5.4.2.1	Verfahrensmerkmale.....	360	5.5.1.1	Verfahrensmerkmale.....	387
5.4.2.2	Verfahrensprinzip/-		5.5.1.2	Verfahrensprinzip/-	
	beschreibung.....	361		beschreibung.....	387
5.4.2.3	Rollenelektroden für		5.5.1.3	Schweißbeignung.....	389
	Nahtschweißen.....	361	5.5.1.4	Fertigungshinweise.....	389
5.4.2.4	Schweißbeignung.....	362	5.5.2	Verfahrensvarianten.....	389
5.4.2.5	Konstruktive Gestaltung.....	363	5.6	<i>Arbeits- und Gesundheitsschutz.....</i>	390
5.4.2.6	Fertigungshinweise.....	363			
5.4.2.7	Schweißanlagenaufbau.....	366	6	Widerstandsschmelzschweißen.....	391
5.4.2.8	Verfahrensvarianten.....	368	6.1	<i>Grundlagen zum Elektroschlacke-</i>	
5.4.3	Buckelschweißen			<i>schweißen (Prozess 72).....</i>	391
	(Prozess 23).....	369	6.2	<i>Elektroschlacke-Verbindungsschweißen..</i>	392
5.4.3.1	Verfahrensmerkmale.....	369			
5.4.3.2	Verfahrensprinzip/-		6.2.1	Zusatzwerkstoffe und Pulver	393
	beschreibung.....	370	6.2.2	Schweißbeignung.....	393
5.4.3.3	Elektroden zum Buckel-		6.2.3	Fertigungshinweise.....	393
	schweißen.....	370	6.2.4	Schweißleinrichtungen.....	394
5.4.3.4	Schweißbeignung.....	371	6.3	<i>Elektroschlacke-Auftragschweißen mit</i>	
5.4.3.5	Konstruktive Gestaltung.....	373		<i>Bandelektrode.....</i>	395
5.4.3.6	Fertigungshinweise.....	375	6.3.1	Zusatzwerkstoffe und Pulver	395
5.4.3.7	Qualitätsmerkmale, Gütesi-		6.3.2	Fertigungshinweise.....	395
	cherung und Prüfverfahren..	376	6.3.3	Schweißleinrichtungen.....	396
5.4.3.8	Schweißanlagen.....	376	7	Schweißen mit Strahlen.....	397
5.4.4	Abbreinstumpfschweißen		7.1	<i>Grundlagen der Strahltechnik.....</i>	397
	(Prozess 24).....	378	7.2	<i>Lichtstrahlschweißen – Schweißen mit</i>	
5.4.4.1	Verfahrensmerkmale.....	378		<i>inkohärentem Licht (Prozess 75).....</i>	398
5.4.4.2	Verfahrensprinzip/-		7.3	<i>Elektronenstrahlschweißen (Prozess 51).</i>	399
	beschreibung.....	380			
5.4.4.3	Schweißbeignung.....	380	7.3.1	Grundlagen des Elektronen-	
5.4.4.4	Konstruktive Gestaltung.....	381		strahlschweißens.....	400
5.4.4.5	Prozessparameter.....	383	7.3.1.1	Entstehung und Besonder-	
				heiten des Elektronenstrahls	400
			7.3.1.2	Elektronenstrahlerzeugung..	401

7.3.1.3	Elektronenstrahlführung	402		7.4.6	Gegenüberstellung Elektronenstrahlschweißen – Laserstrahlschweißen	449
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	<i>Laserstrahlschweißen (Prozess 52).....</i>	420		<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		<i>Ultraschallschweißen (Prozess 41)</i>	465	
7.4.3	Anwendung des Laserstrahl- schweißens	435	8.5	8.4.1 Verfahrensprinzip	465	
7.4.3.1	Tiefschweißeffekt	435		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	8.6	8.4.4 Fertigungshinweise.....	467	
7.4.3.4	Schweißbeignung metal- lischer Werkstoffe	442		8.4.5 Ausrüstungen.....	468	
7.4.3.5	Industrielle Anwendung	443		<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	
				<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	

9	Schweißen durch festen Körper.....	475	10.2.1.3	Ausrüstungen.....	479
9.1	Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung von Heizelementen	475	10.2.1.4	Fertigungshinweise.....	480
9.2	Heizelementschweißen.....	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	Besondere Gefährdungen.....	482
10	Schweißen mit Metallschmelzen	478	11	Schweißen durch Diffusion.....	483
10.1	Grundlagen der schweißtechnischen Nutzung von Metallschmelzen	478	11.1	Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung der Diffusion	483
10.2	Gießschweißen (Thermitschweißen).....	478	11.2	Diffusionsschweißen (Prozess 45).....	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	505

4

Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme

Gasschmelzschweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme (Prozess 31):

Verfahrensprinzip

Schmelzschweißverfahren, bei welchem die thermische Wirkenergie durch die Verbrennung von Brenngas mit Sauerstoff oder Luft mittels einer Flamme in die Werkstücke eingebracht wird.

Anwendungsbereich/Abmessungen

Verbindungs- oder Auftragschweißen, unabhängig von öffentlicher Versorgung mit Elektroenergie, vielfach für Reparaturarbeiten, im Heizungs- und Rohrleitungsbau angewandt, Nutzung der Anlagentechnik und des Werkzeugs Flamme auch für Löten (Flammlöten) und Wärmebehandlungen möglich, Schweißen auch in Zwangslagen möglich, geeignet für Bleche, Profile, Rohre, wirtschaftlich bis $\approx 6,3$ mm Bauteildicke, gute Spaltüberbrückbarkeit.

Werkstoffgruppen

un- und niedriglegierte Stähle, Aluminiumwerkstoffe, seltener Kupfer

Wichtige DVS-Merkblätter und Normen

DVS 0212: 1986-06	Umgang mit Druckgasflaschen
DIN 1340: 1990-12	Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase – Arten, Bestandteile, Verwendung
DIN 8522: 2009-12	Fertigungsverfahren der Autogentechnik – Übersicht
DIN EN 12536: 2000-08	Schweißzusätze – Stäbe zum Gasschweißen von unlegierten und warmfesten Stählen – Einteilung

DIN EN ISO 5172: Gasschweißgeräte – Brenner für Schweißen, Wärmen und Schneiden – Anforderungen und Prüfungen

4.1 Grundlagen der Autogentechnik

4.1.1 Autogenflamme

4.1.1.1 Allgemeines

Das Werkzeug der Autogentechnik ist eine **Flamme**, die als Werkzeug für thermische Prozesse einschließlich des Gasschweißens dient. Die thermische Wirkenergie wird durch die Verbrennung eines Brenngases freigesetzt. Obwohl die Bedeutung des Gasschmelzschweißens in den letzten Jahrzehnten zurückgegangen ist, besitzt dieses Schweißverfahren Vorteile, wie die Möglichkeit der Speicherung der am Prozess beteiligten Gase (Prozessgase) in Behältern. Hierdurch ist das Verfahren unabhängig von einer öffentlichen Energieversorgung. Die Brenner können mittels Schlauchleitungen auch über große Entfernungen mit den Prozessgasen versorgt werden. Die Investitionskosten sind im Vergleich zu zahlreichen anderen Schmelzschweißverfahren gering. Zudem besteht die Möglichkeit, die Anlagen- und Apparatechnik auch für andere Fertigungsverfahren, wie das Flammlöten, das autogene Brennschneiden, das Flammschneiden oder das Flammschweißen, zu nutzen.

Als Prozessgase werden ein Brenngas – meist Acetylen, Propan oder auch Gemische brennbarer Gase – und ein oxidierend wirkendes Gas bzw. Gasgemisch in Form von Sauerstoff oder Luft benötigt.

Das wichtigste Brenngas der Autogentechnik ist **Acetylen** (C_2H_2), auch als Azetylen benannt. Im Weiteren wird statt des Namens Ethin, der der chemischen Nomenklatur entspricht, der in den Ingenieurwissenschaften einschließlich der Fügetechnik übliche Trivialname Acetylen verwendet.

Neben den für das Schmelzschweißen allgemein vorhandenen Gefährdungen durch Schweißrauch, Metaldämpfe und Stäube sind für die Anwendung der Autogentechnik Gefährdungen infolge des Umgangs mit brennbaren Gasen, explosionsfähigen Gasgemischen und unter hohem Überdruck stehenden Druckgasflaschen charakteristisch. Umfangreiche Angaben zum Umgang mit der Anlagentechnik, zu Gesundheitsgefahren, zur persönlichen Schutzausrüstung, zu Schweißarbeiten mit besonderen Gefahren sowie zu Vorschriften und Regeln enthält

die BG-Information „Gasschweißer“ (BGI 554) der Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften [RÖS06]. Um Unfälle zu vermeiden sowie Gefährdungen zu erkennen und diese einzuschränken, existiert eine Vielzahl von Normen und Regeln insbesondere zum Umgang mit Prozessgasen der Autogentechnik sowie zu Anforderungen an die Anlagentechnik, deren Bedienung und Prüfung. Eine Auswahl an besonders wichtigen Normen und Regeln enthält das Quellenverzeichnis.

4.1.1.2 Verbrennung

Die thermische Wirkenergie wird durch eine **Verbrennung** aus chemisch gebundener Energie freigesetzt. Im Folgenden wird die Verbrennung des Brenngases Acetylen durch Sauerstoff beschrieben.

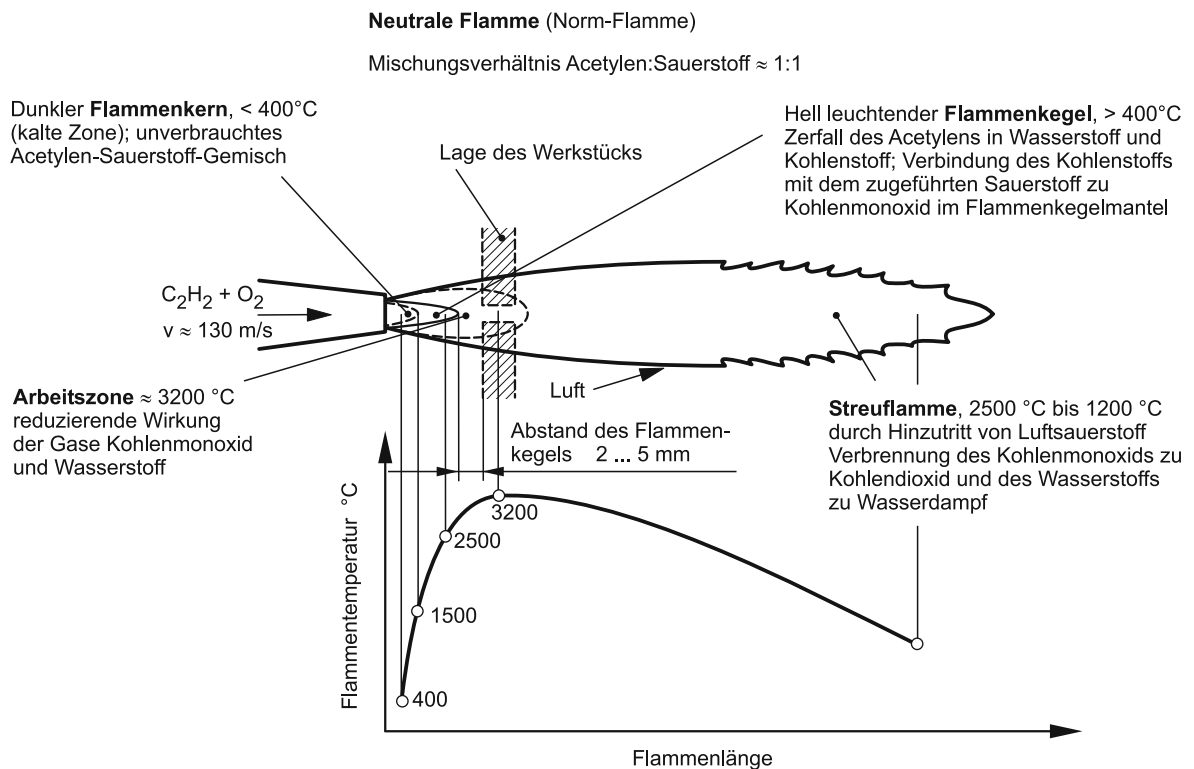
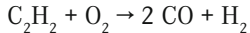


Bild 4.1 Temperaturen und typische Bereiche einer Acetylen-Sauerstoff-Flamme

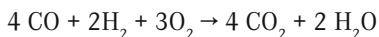
Tabelle 4.1 Verbrennungsstufen unterschiedlicher Brenngase und erreichbare Flammentemperaturen

Brenngas B	Unvollkommene Verbrennung in der ersten Stufe		Vollkommene Verbrennung		Flammen-temperatur in °C
	Mischungsverhältnis B:O ₂	Ablauf	Mischungsverhältnis B:O ₂	Ablauf	
Acetylen C ₂ H ₂	1:1	C ₂ H ₂ + O ₂ → 2 CO + H ₂	1:2,5	2 C ₂ H ₂ + 5 O ₂ → 4 CO + 2 H ₂ O	3180
Propan C ₃ H ₈	1:4	C ₃ H ₈ + 4 O ₂ → 2 CO + CO ₂ + 4 H ₂ O	1:5	2 C ₃ H ₈ + 5 O ₂ → 3 CO ₂ + 4 H ₂ O	2850
Erdgas (Methan) CH ₄	2:1	2 CH ₄ + O ₂ → 2 CO + 4 H ₂	1:2	CH ₄ + 2 O ₂ → CO ₂ + 2 H ₂ O	2750

Die Verbrennung läuft in zwei Stufen ab. In einer ersten Verbrennungsstufe, einer unvollkommenen Verbrennung, wird das Acetylen mit Sauerstoff zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff umgesetzt:



Im Einzelnen zerfällt zunächst das Acetylen in Kohlenstoff und Wasserstoff, wobei der Kohlenstoff zu Kohlenmonoxid oxidiert wird. Die entstehenden Gase Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) wirken chemisch reduzierend auf die üblicherweise mit Oxiden behafteten Oberflächen der Grund- und Zusatzwerkstoffe und des Schweißbades. Oxide werden hierdurch abgebaut. Die zweite Verbrennungsstufe wirkt in Form einer vollkommenen Verbrennung:



Diese Verbrennungsstufe tritt in der sog. Streuflamme auf (Bild 4.1). Der Verbrennungsvorgang erfolgt außerhalb des eigentlichen Brenners vor dem Brennermundstück.

Die Autogenflamme, d. h. deren Gestalt, Temperaturen und **Temperaturverteilung** in der Flamme sowie chemische Wirkung (neutral, oxidierend, redu-

zierend), ist durch zahlreiche Einflussgrößen bestimmt, wie den beteiligten Prozessgasen, deren Mischungsverhältnis, Druck und Volumenstrom sowie der Brennerbauart. Die Temperaturverteilung in einer neutralen Acetylen-Sauerstoff-Flamme, einer sog. Normflamme, ist in Bild 4.1 dargestellt. Für diese Flamme ist eine höchste Temperatur von $\approx 3200^\circ\text{C}$ in der Arbeitszone charakteristisch. Für die vollkommene Verbrennung von 1 Volumenteil Acetylen sind 2,5 Volumenteile Sauerstoff notwendig.

Die Verbrennungsstufen unterschiedlicher Brenngase und die erreichbaren Flammentemperaturen sind in Tabelle 4.1 wiedergegeben. Über die gebräuchlichen Mischungsverhältnisse (Volumenanteile) für unterschiedliche Verwendungszwecke von Autogenflammen gibt Tabelle 4.2 Auskunft.

4.1.1.3 Flammeneinstellung

Die Acetylen-Sauerstoff-Flamme kann bezüglich ihrer chemischen und thermischen Eigenschaften den Anforderungen des Schweißprozesses in weiten Grenzen angepasst werden. Die chemische Wirkung wird durch das Mischungsverhältnis bestimmt. Mittels Einstellung der Strömungsgeschwindigkeiten der Prozessgase kann die thermische Leistung der Flamme verändert werden. Diese

Tabelle 4.2 Mischungsverhältnisse (Volumenanteile) für unterschiedliche Verwendungszwecke von Autogenflammen

Brenngas	Brenngas-Sauerstoff-Gemische für		
	Schweißen	Brennschneiden	Flammwärmen
Acetylen	1:1 ... 1:1,2	1:1,1 ... 1:1,3	1:1,25 ... 1:1,5
Propan	–	1:4,5	1:3,6 ... 1:5
Erdgas	–	1:1,5 ... 1:2,8	1:1,5 ... 1:2

Flammeneinstellungen werden durch Ventile am Griffstück des Brenners vorgenommen.

Neutrale Flamme

Eine neutrale Flamme erfordert ein Mischungsverhältnis zwischen dem Brenngas Acetylen und Sauerstoff im Bereich von 1:1 ... 1:1,2 Volumeneinheiten.

Eine neutrale Flamme besitzt einen inneren, weiß leuchtenden Flammenkern, der sich scharf gegenüber der äußeren Streuflamme abgrenzt. Der Flammenkern hat je nach Intensität der Flamme eine Länge von 5...15 mm und soll möglichst zylindrisch und länglich ausgebildet sein. Die Streuflamme, die den Flammenkern umgibt, ist in Abhängigkeit von der Reinheit des Brenngases und der Raumluft bläulich oder gelb-bläulich. Beim Schweißen kommt es infolge der Erwärmung der Schweißdüse zu einer Vergrößerung der Düsenbohrung. Hierdurch reduziert sich die Strömungsgeschwindigkeit des Sauerstoffs. Es wird deshalb weniger Acetylen angesaugt, wodurch sich der chemische Charakter der Flamme verändert. Deshalb kann es während des Betriebs des Brenners notwendig werden, durch Betätigen der Ventile die Flammeneinstellung zu korrigieren.

Das Gasschmelzschweißen von Eisenbasiswerkstoffen erfolgt ausschließlich mit einer neutralen Flamme. Oxidschichten (Oxidhäute) auf der Schmelzbadoberfläche werden bei richtigem Brennerabstand durch Wirken der ersten Stufe der Verbrennung im Bereich des Gasgemisches durch Kohlenmonoxid und Wasserstoff reduziert. Auch neutral eingestellte Flammen können in Abhängigkeit vom Brenngas geringe Anteile oxidierend wirkender Gasanteile enthalten: ≈ 6 Vol.-%

für die Brenngase Propylen, Propan und Methan [END73].

Sauerstoff-Überschuss-Flamme

Steigt das Acetylen-Sauerstoff-Verhältnis über 1:1,2, so stellt sich eine Sauerstoff-Überschuss-Flamme, auch als oxidierende Flamme bezeichnet, ein. Mit zunehmendem Sauerstoffanteil verkürzen sich sowohl der Flammenkern als auch der sich anschließende Flammenkegel. Der Flammenkern nimmt eine leicht violette Farbe an. Diese Flammeneinstellung wird durch ein deutlich hörbares, zischendes Geräusch der Flamme gekennzeichnet.

Aus einem geringen Sauerstoffüberschuss resultiert eine Erhöhung der Flammenleistung, was sich positiv auf die Schweißgeschwindigkeit auswirkt. Zu große Sauerstoffanteile führen am Schweißbad zu Verbrennungs- und Überhitzungserscheinungen. Beim Schweißen von Stahl kommt es zur Funkenbildung, indem aus dem Schweißbad fortgeschleuderte Tropfen am Ende ihrer Flugbahn sternförmig platzen. Weitere Folgen des Sauerstoffüberschusses sind ein erhöhter Abbrand von Legierungselementen sowie die verstärkte Poren- und Oxidbildung im Schweißbad. Oxideinschlüsse können die Verformungsfähigkeit der Schweißverbindung und deren Beanspruchbarkeit insbesondere bei zeitlich veränderlicher Beanspruchung (Schwingbeanspruchung) oder schlagartiger Beanspruchung wesentlich reduzieren. Mit gezielt eingestelltem Sauerstoffüberschuss werden nur Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) geschweißt. Bei diesen Grundwerkstoffen wirkt der Sauerstoffanteil der Porenbildung entgegen und verhindert das Ausdampfen von Zink aus dem Grundwerkstoff.

Sofern der Grundwerkstoff nicht aufgeschmolzen werden soll, z. B. beim Flammwärmen, kann durch einen Sauerstoffüberschuss eine leistungsstarke Flamme erzielt werden.

Acetylen-Überschuss-Flamme

Sinkt das Acetylen-Sauerstoff-Verhältnis unter 1:1,2, so bildet sich eine Acetylen-Überschuss-Flamme, auch als karburierende Flamme bezeichnet, aus. Diese Flamme besitzt einen je nach Acetylenüberschuss verlängerten, gelblich-weißen inneren Flammenkegel, dessen Umriss nicht mehr scharf begrenzt ist, sondern unregelmäßig gefiedert erscheint.

In der ersten Verbrennungsstufe reicht der dargebotene Sauerstoff nicht zur Oxidation des durch den Zerfall des Acetylen entstehenden Kohlenstoffs aus. Verbleibender „freier“ Kohlenstoff kann beim Gasschmelzschweißen von Eisenbasiswerkstoffen vom flüssigen Schweißgut aufgenommen werden. Bei ausgeprägtem Acetylenüberschuss bilden sich in der Flamme Kohlenstoffflocken (Ruß). Die Folge der Anwendung einer Acetylen-Überschuss-Flamme ist eine Aufkohlung und ggf. Härtesteigerung. Bei Stahl kommt es zur Erhöhung von Härte und statischen Festigkeitseigenschaften, aber auch zu Versprödung und zunehmender Härterisssgefahr. Gezielt mit Acetylenüberschuss wird Gusseisen geschweißt. Zum Zwecke des Auftragschweißens wird mit Acetylen-Überschuss-Flamme gearbeitet, wobei durch den Kohlenstoffeintrag die Bildung härtesteigernder Carbide unterstützt wird. Da die Temperatur in einer Acetylen-Überschuss-Flamme unter der einer neutralen Flamme liegt, wird die Acetylen-Überschuss-Flamme bevorzugt für das Löten eingesetzt, wo i. d. R. niedrigere Arbeitstemperaturen als beim Schweißen erforderlich sind.

„Harte“ und „weiche“ Flamme

Die Eigenschaften einer Flamme werden neben dem Mischungsverhältnis der Prozessgase wesentlich durch deren Ausströmgeschwindigkeiten bestimmt. Eine Flamme mit hoher Ausströmgeschwindigkeit und folglich großer Flammenleistung wird als „harte Flamme“ bezeichnet, während

eine Flamme mit geringer Ausströmgeschwindigkeit vergleichsweise leistungsarm ist und als „weiche Flamme“ gilt.

Mittels unterschiedlicher Schweißensätze im Brenner kann die thermische Leistung bzw. die „Härte“ der Flamme der Schweißaufgabe angepasst werden, wobei das gewünschte, optimale Mischungsverhältnis der Prozessgase unverändert bleibt. Für das Gasschmelzschweißen werden die thermische Leistung und damit der Schweißensatz entsprechend der Dicke der zu schweißenden Bauteile gewählt. Darüber hinaus kann durch Betätigen der Ventile weiterhin die Flamme feinfühlig „hart“ oder „weich“ eingestellt werden.

Die Gasausströmgeschwindigkeiten liegen für sehr kleine Schweißensätze im Bereich von $\approx 50 \dots 60$ m/s und bei mittleren Schweißensätzen im Bereich von $\approx 80 \dots 130$ m/s. Sehr große Schweißensätze erreichen Ausströmgeschwindigkeiten um 200 m/s und werden zum Wärmen, wo kein Wegblasen des Schmelzbades eintreten kann, oder zum autogenen Trennen benutzt.

4.1.2 Autogenbrenner

4.1.2.1 Allgemeines

Ein **Autogenbrenner** hat die Aufgabe, aus dem zugeführten Brenngas und dem Sauerstoff oder der Luft ein definiert einstellbares Gemisch zu bilden und dieses Mischungsverhältnis konstant zu halten. Das Gasgemisch soll mit einer solchen Geschwindigkeit aus dem Brenner austreten, sodass sich nach dem Zünden eine rückzündsicher brennende Flamme bestimmter Form, Größe und Leistung einstellt.

Die Autogenbrenner werden für verschiedene Gase mit entsprechender Flammengröße und -form in den Handel gebracht. Die Düsen dürfen nur für jenes Gas verwendet werden, für das sie bestimmt sind. Die Mischeinrichtung und die Düse des Schweißensatzes sind wie folgt gekennzeichnet:

A = Acetylen

P = Flüssiggas

H = Wasserstoff

C = Leuchtgas (Stadtgas, d. h. ein Gemisch aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan, kaum mehr in Anwendung)

M = Erdgas (Methan).

Zusätzlich sind der Schweißbereich (Bauteildickenbereich) sowie das Herstellerzeichen und auf der Mischeinrichtung noch der Sauerstoffdruck angegeben.

In der Autogentechnik wird eine Vielfalt unterschiedlicher Brenner für verschiedene Aufgaben genutzt. Eine Einteilung von Brennern kann nach folgenden Kriterien erfolgen:

Mischungsprinzip:

- Saugbrenner (Injektorbrenner, Bunsenbrenner),
- Druckbrenner.

Brenngasart:

- Acetylenbrenner,
- Propanbrenner,
- Erdgasbrenner,
- Wasserstoffbrenner.

Flammenform und Flammenanordnung:

- Einflammenbrenner,
- Mehrflammenbrenner.

Einsatzzweck:

- zum Fügen (Schweißen, Löten),
- zum Trennen,
- zum Stoffeigenschaftsändern (Wärmen),
- zum Beschichten,
- zum Umformen (Flammrichten).

Mechanisierungsgrad:

- manuell,
- mechanisiert.

Angaben über Aufbau, Funktion, Sicherheitsanforderungen und weitere Merkmale enthält DIN EN ISO 5172. Die meisten handelsüblichen Brenner sind mehrteilig ausgeführt, sodass durch einfaches Auswechseln ein Brenner verschiedenen Einsatzzwecken angepasst werden kann.

4.1.2.2 Brennerarten

Injektorbrenner (Saugbrenner)

Die meisten in der Praxis genutzten Autogenbrenner sind Injektorbrenner. Die Prozessgase strömen über die beiden Ventile (z. B. Sauerstoff- und Acetylenventil) durch Rohre bzw. im Brenner gebohrte Kanäle durch die Mischdüse in einen Mischraum. Den schematischen Aufbau des Injektors stellt Bild 4.2 dar. Bei einem Acetylen-Sauerstoff-Injektorbrenner strömt Sauerstoff aufgrund des im Ver-

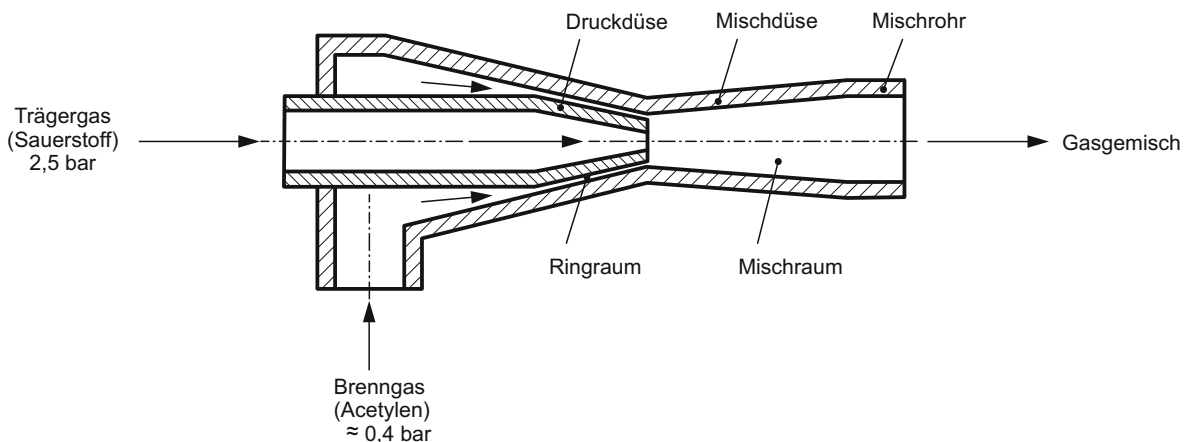


Bild 4.2 Injektor, schematisch

gleich zu Acetylen hohen Drucks von etwa 2,5 bar mit großer Geschwindigkeit in die Druckdüse. Die Druckdüse ist von einem metallischen Mantel umgeben, welcher einen spaltförmigen Ringraum bildet. Durch diesen Ringraum wird das Acetylen mit geringem Überdruck von 0,2 ... 0,4 bar zugeführt. Die große Geschwindigkeit des in die Mischdüse strömenden Sauerstoffs erzeugt im Ringraum zwischen Druck- und Mischdüse einen Unterdruck, durch welchen das Brenngas angesaugt wird. Dieser Effekt wird als Injektorwirkung bezeichnet. Die obigen Druckangaben entsprechen den jeweiligen Arbeitsdrücken für Sauerstoff bzw. für Acetylen beim Gasschweißen, welche an den Druckminderern einzustellen sind.

Den Aufbau eines Injektorbrenners zeigt Bild 4.3. Über das Griffstück erfolgt die Zufuhr von Sauerstoff- und Brenngas, gesteuert durch das jeweilige Ventil. Die Ventile sind mit folgenden Farben gekennzeichnet:

- blau: Sauerstoff,
- gelb: Acetylen,
- orange: Flüssiggas,
- rot: übrige Brenngase.

Der an den Einsatzzweck bzw. die zu schweißenden Werkstückdicken anzupassende Schweißeinsetz ist bei den meisten Brennern auswechselbar. Der Schweißeinsetz wird in das Griffstück eingesteckt

und hier mit Rundringen gedichtet sowie mittels einer Überwurfmutter angezogen und verbunden. Der Schweißeinsetz besteht aus dem Injektor mit Druck- und Mischdüse, dem Mischrohr und der Schweißdüse.

Die Funktionsfähigkeit eines Injektorbrenners lässt sich überprüfen, indem man den Schlauch am Brenngasanschluss abzieht und das Sauerstoffventil öffnet. Die Saugwirkung muss dann am Brenngasanschluss spürbar sein.

Weitere Brennbauarten und Mischungsprinzipien

Weitere Brenner, die gegenwärtig nur noch eine untergeordnete oder gar historische Bedeutung besitzen, sind der **Hochdruckbrenner** (meist für Brenngas Wasserstoff verwendet) und der **Gleichdruckbrenner**. Für weitere Informationen zu diesen Brennern sei auf das Schrifttum, z. B. [KRI54], verwiesen.

Eine Auswahl weiterer Brennerbauarten und Brenneinsätze für verschiedene Anwendungsgebiete, wie Fügen, Trennen, Umformen (Flammrichten), Stoffeigenschaftsändern (z. B. Flammwärmen) zeigt Bild 4.4.

Mehrflammenbrenner

Zur Erhöhung der Schweißleistung wurde dazu übergegangen, an dem Schweißbrennermundstück zwei Flammen brennen zu lassen (sog. Zwei-

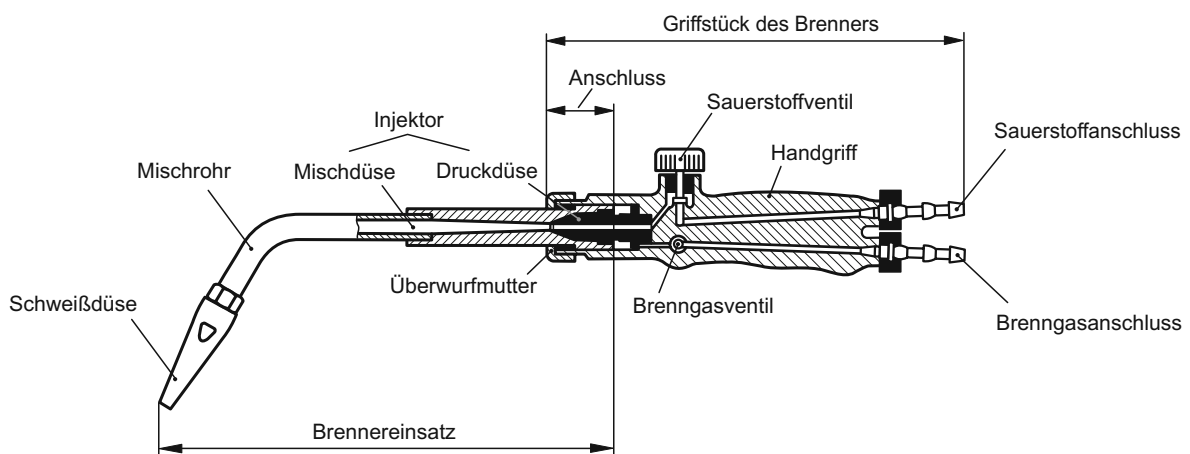


Bild 4.3 Aufbau eines Injektorbrenners, nach [BÖH92]

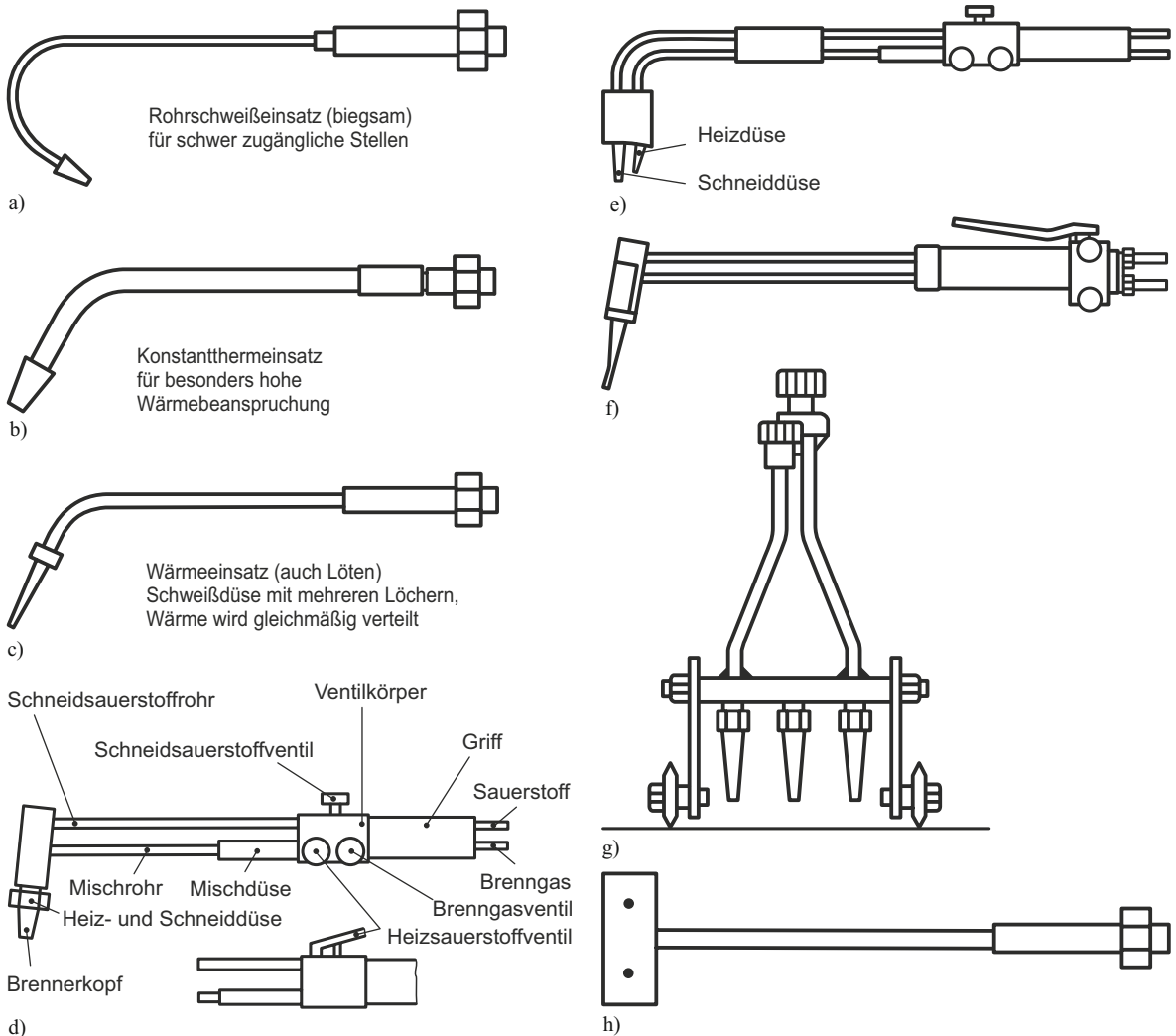


Bild 4.4 Auswahl weiterer Brennerbauarten und Brenneinsätze für verschiedene Anwendungsgebiete.

a) Rohrschweißersatz (biegsam) für schwer zugängliche Stellen; b) Konstanttherm-Brenneinsatz für besonders hohe Wärmebeanspruchung; c) Wärmeeinsatz (auch für Löten, Wärme wird durch Schweißdüse mit mehreren Löchern gleichmäßig verteilt); d) Schneidbrenner (konventionelle Bauart); e) Schneidbrenner mit Stufendüse; f) Fugenhobel; g) Flammrichtbrenner (mehrflammig); h) Brenneinsatz zum Flammenstrahlen, Entrosten, Entzundern

flammenbrenner). Die voreilende Flamme wärmt vor, und mit der nachlaufenden Flamme wird unter gleichzeitiger Zugabe des Zusatzwerkstoffes (Schweißdraht) geschweißt. Der Zweiflambrenner bedingt zwangsläufig die Nachrechtsschweißung. Bei Anwendung dieses Brenners können relativ hohe Schweiß-

geschwindigkeiten und schmale Schweißnähte bzw. Wärmeeinflusszonen erzielt werden. Zur Steigerung der Arbeitsleistung bei dickeren Blechen werden auch Brennerköpfe für Handschweißbrenner mit vier, fünf und mehr Flammen oder Schlitzflammen gebaut. Mit Ausnahme des Zweiflambrenners haben sich

die anderen erwähnten Mehrflammenbrenner nur in Sonderfällen bewährt.

Maschinenbrenner

Maschinenbrenner mit 20 und mehr Einzelflammen finden in Sonderfällen, z. B. in der Röhrenfertigung, Anwendung. Die Brenner werden in der Regel mit Rücksicht auf die starke Erwärmung wassergekühlt. Der Schmelzvorgang erfordert oft, dass die einzelnen Flammen desselben Brenners verschiedene Wärmeleistungen (Flammenstärken) und Richtungen besitzen, um den Metallfluss richtig zu beeinflussen.

4.1.2.3 Betreiben der Autogenbrenner

Inbetriebsetzen und Zünden

Acetylen-Sauerstoff-Schweißbrenner werden in nachstehender Reihenfolge der Bedienungsgriffe bzw. Tätigkeiten in Betrieb genommen:

1. Sauerstoffventil (weit) öffnen und Arbeitsdruck am Druckminderer einstellen.
2. Acetylenventil öffnen. Das Acetylen wird infolge des mit größerer Strömungsgeschwindigkeit fließenden Sauerstoffs von diesem angesaugt (Injektorwirkung) und anschließend mit dem Sauerstoff gemischt.
3. Zünden des am Brennermundstück austretenden Gasgemischs,
4. Durch Einstellen am Acetylenventil wird das typische Bild einer neutralen Flamme erzeugt.

Diese Reihenfolge des Öffnens der Ventile ist notwendig, um zu verhindern, dass Acetylen unnötig in die Schweißwerkstatt austritt. Ein sofortiges Zünden des Acetylens ohne Sauerstoffzufuhr bewirkt eine stark rußende Flamme. Für das Zünden sind nur hierfür bestimmte Geräte zu benutzen. Das Verwenden von Feuerzeugen ist aufgrund der Explosionsgefahr unzulässig.

Beim Inbetriebsetzen der Wasserstoff- und Leuchtgasschweißbrenner wird zuerst der Brenngashahn geöffnet. Das an der Brennermündung austretende Gas wird an einer offenen Flamme entzündet und nachträglich der Sauerstoffhahn geöffnet. Beim Absperrren wird zuerst der Sauerstoffhahn geschlossen.

Löschen

Bei normaler Beendigung der Schweißarbeit, Störungen und Flammenrückschlägen ohne pfeifendes Geräusch ist der Brenner in folgender Weise außer Betrieb zu setzen:

1. Acetylenventil schließen
2. Sauerstoffventil schließen

Durch diese Reihenfolge wird eine stark rußende Acetylenflamme vermieden und eine kleine Restflamme, die durch ein nicht völlig dicht schließen des Acetylenventil verbleiben kann, durch den noch strömenden Sauerstoff ausgeblasen. Nicht beachtete Acetylenrestflammen können einen Acetylenzerfall mit schweren Zerstörungen bis zur Sicherheitsvorlage (s. Abschn. 4.1.5.4) einleiten.

4.1.2.4 Flammenstörungen

Flammenrückschlag

Der kontinuierliche Verlauf der Verbrennung kann infolge unterschiedlicher Ursachen gestört werden, sodass **Flammenstörungen** eintreten. Verschmutzte oder beschädigte Düsen erzeugen ein ungleichmäßiges Flammenbild und führen zu nicht reproduzierbaren Schweißergebnissen. Eine regelmäßige Reinigung des Brennermundstücks ist notwendig, darf aber nur mit den für diesen Zweck bestimmten Reinigungsnadeln vorgenommen werden. Eine beschädigte Düse muss ersetzt werden.

Eine weitere Flammenstörung ist die Rückzündung der Flamme. Verantwortlich hierfür ist die Vergrößerung des Ausströmquerschnittes bei zunehmender Temperatur (z. B. bei Gusseisenwärmeschweißungen oder Schweißen in Werkstückwinkeln), wodurch die Strömungsgeschwindigkeit des Gasgemisches bis unter dessen Zündgeschwindigkeit absinkt. Die zurückschlagende Flamme erlischt meist sofort vor der Druckdüse, kann sich jedoch auch entgegen der Gasströmungsrichtung unter Entwicklung eines charakteristischen, pfeifenden Geräuschs zurück in den Brenner ausbreiten. Wird die Zufuhr der Prozessgase nicht sofort unterbrochen, kann dies zur Zerstörung des Brenners, u. U. auch zu einem Acetylenzerfall in der Zuleitung führen. In diesem Fall ist der Brenner sofort mit folgenden Maßnahmen außer Betrieb zu setzen:

1. Sauerstoffventil schließen,
2. Acetylenventil schließen.

Geschieht das nicht rechtzeitig, so zerstört eine im Gerät weiterbrennende Flamme den Schweißbrenner. Außerdem kann auch ein Acetylenzerfall in der Schlauchleitung verursacht werden.

Infolge einer Überhitzung des Mundstücks kann die Flamme „abknallen“, d. h., die Flamme verlöscht plötzlich. Nachströmendes Gasmisch entzündet sich wieder und erlöscht abermals (sog. „Abknallen“), wodurch der Brenner knattert. In diesem Fall ist das Brennermundstück durch Eintauchen in Wasser bei schwach geöffnetem Sauerstoffventil zu kühlen.

Ein Gasrücktritt als weitere Form einer Flammenstörung kann eintreten, wenn infolge von Undichtigkeiten im Brennergriffstück, verstärkt durch eine Düsenverstopfung, Gas aus der Leitung mit höherem Druck (dies ist Sauerstoff) in die Leitung mit niedrigerem Druck (Acetylen) eintritt. Kommt es zum Zünden eines zündfähigen Gemischs, so tritt eine explosionsartige Verbrennung ein, die möglicherweise zu Personen- und Sachschäden führen kann.

4.1.3 Betriebsmittel der Autogentechnik

4.1.3.1 Allgemeines

Unter **Betriebsmittel** der Autogentechnik werden die Prozessgase, d. h. Sauerstoff oder Luft, einerseits und Brenngase, wie Acetylen, Flüssiggas, Erdgas oder Wasserstoff andererseits, verstanden.

4.1.3.2 Sauerstoff

Allgemeines

Ausgewählte Eigenschaften des Sauerstoffs sind in Tabelle 4.3 zusammengefasst. Technisch genutzter Sauerstoff wird durch fraktionierte Destillation aus flüssiger Luft im Gegenstromverfahren nach Carl v. Linde gewonnen.

Armaturen und Verschraubungen, durch die Sauerstoff geleitet wird, dürfen nicht mit Ölen und Fetten in Kontakt kommen, demzufolge auch

nicht mit Ölen oder Fetten geschmiert werden! Anderenfalls besteht akute Brand- und Explosionsgefahr!

Bereitstellung, Transport und Verteilung

Die Art der Bereitstellung richtet sich nach der Höhe des Gasverbrauches. Folgende Anhaltswerte zu Gasverbrauch und Transport können angegeben werden:

- > 3 000 m³/Monat: Transport flüssig in Tankwagen für Kaltvergaseranlagen (zu Umrechnungsfaktoren für gasförmigen und flüssigen Sauerstoff s. Tabelle 4.4),
- > 100 m³/Monat: Transport in Flaschenbündeln,
- < 100 m³/Monat: Einzelflaschen mit Fülldruck von 150 bar oder 200 bar.

Tabelle 4.4 Umrechnungsfaktoren für gasförmigen und flüssigen Sauerstoff

Volumen des Gases in m ³ (bezogen auf 15 °C und 1 bar)	Volumen des Flüssiggases in l (im Siede- zustand)	Masse in kg
1,000	1,171	1,337
0,854	1,000	1,142
0,748	0,876	1,000

Verschiedene Arten der **Sauerstoffversorgung** in Abhängigkeit vom Sauerstoffverbrauch zeigt Bild 4.5 in schematischer Form. Die Verteilung erfolgt in Werkstätten mit größerem Verbrauch über Ringleitungen. Wichtige Baugruppen und Komponenten einer zentralen Sauerstoffversorgung beim Verbraucher werden in den Bildern 4.6 und 4.7 dargestellt.

4.1.3.3 Brenngase

Eine möglichst vollständige Verbrennung mit hohem Wirkungsgrad setzt das intensive Mischen des Brennstoffs mit Sauerstoff oder Luft voraus. Dies lässt sich insbesondere dann realisieren, wenn als Brennstoff ein Gas, ein sog. Brenngas, verwendet

Tabelle 4.3 Ausgewählte Eigenschaften von Sauerstoff und Brenngasen der Autogentechnik

Merkmale	Sauerstoff	Brenngase			
		Acetylen	Flüssiggas (Propan)	Methan (Erdgas)	Wasserstoff
Chemisches Symbol	O ₂	C ₂ H ₂	C ₃ H ₈	CH ₄	H ₂
Darstellung/Gewinnung	Luftverflüssigung, fraktionierte Destillation	Carbidvergasung, Hochtemperaturpyrolyse	Erdöldestillation	unmittelbare Fündigkeit	Chloralkalielektrolyse, Wasserelektrolyse
Verwendung	Autogentechnik, Hüttenindustrie, Stahlherzeugung, chemische Industrie, Medizin, Raketentechnik	Autogentechnik, chemische Industrie, Kunststoffe, Düngemittel	Treibgas, Industrie, Heizzwecke, Autogentechnik	Heizzwecke, Industrie, Autogentechnik (meist Verschnitt)	Schweißen von Blei und Aluminium, Brennschneiden, dicker Querschnitte, Ofenlöten
Reinheit, handelsüblich, in %	> 99,5	> 99	> 99,8	≈ 85	> 99,75
Eigenschaften	ungiftig, geruchlos, geschmacklos, farblos, unbrennbar, verbrennungsfördernd	ungiftig, farblos, in Mengen betäubend, charakteristischer Geruch	geruch- und farblos, hohes spezifisches Gewicht, wirkt lösend oder quellend gegenüber einzelnen Elastomer- und Polymerwerkstoffen	ungiftig, geruchlos, geschmack- und farblos	ungiftig, geruchlos und farblos
Verunreinigungen	N ₂ , Ar, H ₂ O	Ar, H ₂ O	H ₂ , N ₂ , O ₂ , CH ₄	N ₂ , CO ₂ , C ₃ H ₈	O ₂ , H ₂ O
Spezifische Masse in kg/m ³	1,43 1,33	1,17 1,07	2,02 2,00	0,72 0,66	0,09 0,08
Siedetemperatur in °C	-183	-84	-43	-161	-253
Spezifischer Heizwert in kJ/m ³		57 120	93 000	≈ 36 000	10 750
Minimale Zündtemperatur in °C		335 295	510 490	640 590	510 450
Zündgeschwindigkeit in m/s		1,3 13,1	0,3 3,7	0,4 3,3	2,7 8,9
Maximale Flammentemperatur in °C		2 325 3 180	1 925 2 850	1 920 2 750	2 095 2 525
Flammenleistung in kJ/(cm ³ s)		≈ 45	≈ 11	≈ 13	≈ 14
Mischungsverhältnis Brenngas : Sauerstoff		1:1	1:3,5	1:1,7	4:1

Sachwortverzeichnis

4-Niveau-Lasers 424
 ΔI -Regelung 78
 ΔU -Regelung 78

A

Abbrennstrom 383
Abbrennzeit 383
Abbrennzugabe 383
Ablängen 58
Ablenkfiguren 413
Abreißzündung 136
Absaugbrenner 196
Absaugung 449
Abschmelzleistung 116
Absorption 423
Aceton 298
Acetylen 284
Acetylenentwickler 297
Acetylen-Luft-Gemisch 296
Acetylenzerfall 296
Aktive Gase 107
 Al_2O_3 233
Aluminium 379
– Ultraschallschweißen 465
Aluminothermisches
 Schmelzschweißen
– Fertigungshinweise 480
Analogstromquellen 74
Anode 65
Anodenfallspannung 65
Arbeitsgase 440
Arbeitskammer 403
Arbeitspunkt 77, 278
Armaturen 304
Aspektverhältnis 435
Aufheizgeschwindigkeit 485
Auftragschweißen 19
Aufweitung 438
Ausbringung 91, 99, 116
Austenitbildner 35, 130, 192
Autogenbrenner 287

B

Backenabstand 383
Balance 74, 137, 170
Bandelektroden 95
Basisch umhüllte Stabelektroden 115
Basizitätsgrad 102, 233
Beanspruchungszustand 36
Beschichten 19
Beschleunigungsspannung 401
Besetzungsinversion 424
Betriebsmittel 292
Beugungsmaßzahl 438
BG-Regeln 59
Blaswirkung 67, 272
Bolzenformen 270
Bolzenschweißen 267
Brennerhaltungen 318
Brennweite 438
Buckel ISO 8167-P2,5 375

C

Calciumcarbid 297
CaO 234
 CO_2 429
 CO_2 -Gaslaser 427
 CO_2 -Slab-Laser 429
Co-Basis-Legierungen 104
Crossjet 434

D

Dampfkanal 409
Deflagration 307
Demontage 61
Detonation 307
Dick Rutil umhüllte Stabelektroden
 (RR) 115
Diffusionsschweißen 483
Dimethylformamid 298
Dissousgasflaschen 298
Dissoziation 64
Divergenz 424

Divergenzwinkel 438
Doppelpulstechnik 208
Drahtantrieb 86
Drahtelektrodenende 202, 217, 278
Drahtpulsen 209
Drahtrichtwerk 90
Drahtvorschubsysteme 86
Druckminderer 110, 304
Dünn Rutil umhüllte
 Stabelektroden 115
Durchdrücktechnik 174
Durchtrittsstrommessung 412
DVS-Merkblätter 212

E

Edelmetalle
– Ultraschallschweißen 465
Edelstähle 33
Eigenspannungen 56
Einschaltdauer 80
Einschleich-Funktion 210
Einstellregeln für Stahl 383
Einteilung der Fertigungsverfahren
 nach DIN 8580 15
elektrische Gefährdung 279
elektrische Leitfähigkeit von
 Schutzgasen 106
Elektrodenrückstand 156
Elektroden spitze 132, 163
Elektrodenumhüllung 91
Elektrogasschweißen 214
Elektronengas 19
Elektronenstrahl 401
Elektronenstrahlgenerator 401
Elektronenstrahlhärten 419
Elektronenstrahlschweißen 401
Elektronenstrahlschweiß-
 verbindungen 410
Engspaltschweißen 144, 212
Erdgas 300
Erschmelzungsart 32

F

fallende Kennlinie 134, 169
Farbkennzeichnung 314
Faserlaser 427
Fe-Basis-Legierungen 104
FEM 43
Ferritbildner 35
Fertigungsprozess 15
Fertigungsverfahren 15
Festkörperlaser 423
Filter 449
Flachdrahtelektroden 203
Flammdurchschlag 307
Flamme 283
Flammeneinstellungen 286
Flammenstörungen 291
Flüssiggas 299
Flussspat 113
Fokusedurchmesser 438
Fokussposition 413
Fokussierzahl 438
Fördergasstrom 174
Formiergas 183
Fügarkeit 29
Fuge 312
Fügen durch Schweißen 17
Fugenform 46
Fügeprozess 17
Fügestelle 17
Fügevorgang 17
Fülldrahtelektroden 194
Füllgrad 99

G

Gas 302
Gasdüsenensor 275
Gaslaser 423
Gaslinsen 148, 182
Gasrücktritt 307
Gasschläuche 305
Gasschmelzschweißen 309
Gasschweißen 309
Gasverbrauch 312
Gebrauchsstellenvorlage 308
Gefährdungen beim
 Sprengschweißen 474
Gefährdungsklassen 448
Gefügeumwandlungen 34, 56
Glättungs-drossel 73
Gleichdruckbrenner 289

Grobkornzone 35
Güte einer Schweißverbindung 56

H

Hartauftragen 95, 101
Hauptgruppen der
 Fertigungsverfahren 309
Heißbrisse 372
Hilfsstromquelle 166
Hochdruckbrenner 289
Hochleistungs-elektroden 116
Hochleistungs-Kurzlichtbogen 198
Hochspannungsschweißanlagen 411
Hochspannungszündgerät 67, 135,
 168
Hochvakuumschweißanlagen 404
horizontale Kennlinie 194
Hotstart-Funktion 211
Hubzündung 85, 268
Hybridprozess 209

I

I-Entwickler 297
IG-IP-Modulation 79
IG-UP-Modulation 79
Impulslichtbogen 197
Impulsstromschweißen 137, 170
I-Naht 118
induktive Sensoren 275
induktiv unterstütztes
 Laserstrahlschweißen 442
Induktoren 387
inerte Gase 107
Injektorbrenner 288
innere Regelung 78, 242
Inverter 75
Ionisation 64
Ionisationsenergie 106

K

Kadmium-Überzüge 339
Kalkspat 113
kapazitive Sensoren 276
Kathode 65
Kathodenfallspannung 65
kathodischer Reinigungseffekt 139
Kaverne 224
Keramiking 105, 269
Kerbspannungskonzept 44
Kernstab 91

Kilohertz-Pulsen 135
Kleinspulengerät 88
Kohlenstoffäquivalent 33
Kompaktgerät 89
Kondensatorbatterie 331
Kondensatorentladungs-
 Bolzenschweißen 268
Konstruktionswerkstoffe 373
Kontaktrohrabstand 201
Kontaktwerkstoffe 373
Kraft- und Stromprogramme 347
Kurzlichtbogen 196
Kurzlichtbogentechniken 205
Kurzschlusszündung 68

L

Längenzugabe 382
LASER 423
Laser-Abstandssensoren 276
Laserarbeitsplätze 448
Lasereffekt 423
Laserklassen 448
Laserscanner 276
Laserschutzwand 449
Leiterwerkstoffe 373
L-Entwickler 297
Lichtbogen 64
Lichtbogenart 196
Lichtbogenbolzenschweißen 268
Lichtbogenhandschweißen 111
Lichtbogenkennlinie 68
Lichtbogenplasma 65
Lichtbogensensoren 277
Lichtbogenstaudruck 161
Lichtbogentemperatur 65
Lichtbogenzündung 67
Lichtleitfasern 432
Lichtquant 423
Lichtquellen 423
Lichtstrahlschweißen 399

M

magnetische Fokussierlinse 402
Magnetit 113
Magnetwerkstoffe 373
Maschinenbrenner 291
Maschinenleistung 383
Massivdrahtelektroden 95
Mehrgasbrenner 145
Mehrkathodenbrenner 145

Mehrkomponentengase 192
Mehrkomponentenschutzgase 199
Mehrrollenantriebe 87
M-Entwickler 297
Metall-Aktivgasschweißen 190
Metalldampf 435
Metall-Inertgas 190
Metall-Schutzgasschweißen 188
Mikroplasma-schweißen 178
Mitteldruckentwickler 297
mit Zellulose umhüllte
 Stabelektroden 114
Monochromasie 424

N

Nachlinksschweißen 317
Nachrechtsschweißen 317
Nachweiskonzepte 43
Nd:YAG-Festkörperlaser 425, 426
Nebenschluss 346
Nennspannungskonzept 43
Ni-Basis-Legierungen 104
Nichteisenwerkstoffe 95
nicht schweißbare
 Schutzschichten 339
Niederdruckentwickler 297
Nonvacuum-Elektronenstrahl-
 schweißen 405

O

Offline-Programmierung 435
Ökobilanzen 62
Ordnungsnummer 21

P

P 350, 375
Phasenanschnittsteuerung 73
Photon 423
Pilotlichtbogen 168
Pincheffekt 66
Pinch-Effekt 200
Plasma 435
Plasmabeeinflussung 436
Plasmadiagnostik 441
Plasmadüse 166
Plasmagas 161, 174
Plasma-Heißdrahtschweißen 173, 177
Plasma-Kaltdrahtschweißen 173
Plasmalichtbogenschweißen 157
Plasmaschweißen 155

Plasma-Stichlochschiweißen 175
Plasmastrahlschweißen 158
Plasmawolke 435
PLM 61
Polungsarten 136, 169
Pressschweißen 17, 20
primär getaktete Stromquelle 75
Product Lifecycle Management 61
Produktionstechnik 15
Produktlebensphasen 60
programmierbare Steuerung 412
Prozessanalyse 55
Prozessgase 283
Pull-Pull-Antrieb 89
Pulsbreitenmodulation 74
Pulverabsaugung 243
Pulverförderer 174
Pulver-Plasmalichtbogen-
 schweißen 158, 177
Pulververbrauch 237
Pulverzuführung 174
Pulverzusammensetzungen 104
Punktschweißlack 339
Push-Pull-Antrieb 89

Q

Qualitätsstähle 33

R

räumliche Kohärenz 424
Rautiefe 485
Recyclingfähigkeit 61
Reibschweißen
 – Bauteilverkürzung 457
Remote-Bearbeitung 434
Ringzündung 86
Rohrschweißen mit stabförmigem
 Induktor 389
Röntgenstrahlung 420
rotierender Lichtbogen 198
Rücktrocknung 117
Rutil-sauer umhüllte
 Stabelektroden 115
Rutil-Zellulose umhüllte
 Stabelektroden 115

S

Sauerstoffversorgung 292
Sauer umhüllte Stabelektroden 114
Saugbrenner 288

Scanneroptik 439
Schaeffler-Diagramm 35
Schärfentiefe 438
Scheibenlaser 426
Schlacke 116
Schlauchpaket 85
Schleppdüse 148, 182, 219
Schlüssellochtechnik 174
Schmelzbadsicherungen 255
Schmelzschiweißen 17, 20
Schutzgasbrause 148, 182, 219
Schutzgase 105, 441
Schutzgläser 434
Schweißaggregate 70
Schweißbarkeit 29
Schweißbolzen 105
Schweißbrenneranstellung 217
Schweißbeignung 29
Schweißen 17
Schweißen durch festen Körper 475
Schweißen mit Metallschmelzen 478
Schweißen mit stabförmigem
 Induktor 387
Schweißen mit umschließendem
 Induktor 387
Schweißerlaubnisschein 59
Schweißfolgepläne 45
Schweißgut 17
Schweißmöglichkeit 29
Schweißnahtwertigkeit 44
Schweißöse 174
Schweißpositionen 312
Schweißpulver 101, 226
Schweißpulver zum UP-
 Schweißen 103
Schweißrauch 281
Schweißsicherheit 29
Schweißstäbe 93
Schweißstabsklassen 315
Schweißstromquellen 70
Schweißzone 17
sekundär getakteten Stromquellen 74
Sensorik 273
S-Entwickler 297
SF-Entwickler 297
Sicherheitseinrichtungen 307
Sicherheitsklasse 350
Sicherheitswasservorlage 307
Silber
 – Ultraschallschweißen 465
Slab-Laser 429

Slope Control 412
Spaltüberbrückbarkeit 310
Spannkraft F 383
Spannungsüberwachung 166
Spitzenzündung 85, 268
Sprühlichtbogen 197
Square-wave-Stromquellen 242
Stabelektroden 90
Stahl
– Ultraschallschweißen 465
Stähle 379
Stahlflaschen 298
Stahl mit Zinkschutzschicht 338
Stahlwerkstoffe 95
Steiflanken-Naht 120
Steuerelektroden 402
Steuerspannung 402
Stichlochtechnik 174
Strahlführungssysteme 432
Strahlintensitäten 433, 435
Strahlparameterprodukt 438
Strahlpendeln 414
Strahlqualität 433
Strahlqualitätszahl 438
Strahlstrom 402
Strahltaillenradius 438
Strahlungseinkopplung 440
Streckenenergie 52
Strichraupentechnik 122
Stromkontaktrohr 84
Stromquellenkennlinie 77, 278
Strukturspannungskonzept 43
stufengeschaltete
 Schweißgleichrichter 73
Synergiekennlinien 195
Systeme 434
SZTU-Schaubilder 34

T
taktile Sensoren 274
Technische Regeln für Acetylenanlagen
 und Calciumcarbidlager (TRAC) 303
Temperaturverteilung 285
thermische Energie 17
Thermokompressionsschweißen 475
Thermopulsen 208
thoriumhaltige
 Wolframelektroden 155
Thyristorstromquellen 73
Tiefschweißen 174
Titan
– Ultraschallschweißen 465
Toleranzgrenzen 359
Totalreflexion 432
Transduktor 71
Triangulation 276
Trockensicherungen 308
Tropfenablösung 197
Tropfenübergang 116

U
Ultraschallschweißen von Glas 465
Ultraschallschweißen von Kupfer 465
Umlenkspiegel 432
Umweltmanagementsystem 62
U-Naht 120
Unfallverhütungsvorschriften 59
Universalgerät 89
unlegierte Stähle 380
unlösbare Verbindungen 19
Unregelmäßigkeiten 56
Unterpulverschweißen 224
UP-Bandschweißen 248
UP-Heißdrahtschweißen 248
UP-Kaltdrahtschweißen 246
UP-Mehrdrahtschweißen 249
UP-Metallpulverschweißen 252

UP-Paralleldrahtschweißen 248
UP-Tandem 249

V
Verbindungselement 16
Verbrennung 284
Verunreinigungen 32
V-Naht 120

W
Wärme 17
Wärmeeinflusszone (WEZ) 17
Wärmeleitfähigkeit von
 Schutzgasen 106
Wärmeleitungsschweißen 174
Warmpressschweißen 475
Wellenlänge 438
Werkstoffübergang 192
Werkstückdicken 312
Widerstands- und
 Heizleiterwerkstoffe 373
WIG-Heißdrahtschweißen 140
WIG-Kaltdrahtschweißen 140
WIG-Stäbe 134
Wirkpaarungen 20
Wirkungsgrad 52, 425
Wolframelektrode 82, 132
Wolfram-Inertgasschweißen 127
Wurzelschutz 149, 183, 219

X
X-Naht 120

Z
Zellulose 113
Zubrandverhalten 234
Zündhilfen 259
Zusatzwerkstoff 16