

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Einführung	1
1.1	Wie es begann	1
1.2	Normung ist wichtig	7
1.2.1	Einteilung der Schutzgasschweißverfahren	7
1.3	Beschreibung des Metall-Schutzgasschweißens	8
	Schrifttum	9
2	Grundlagen der Elektrotechnik für das Lichtbogenschweißen	11
2.1	Stromfluss	11
2.2	Spannung und Widerstand	12
2.3	Ohmsches Gesetz	14
2.4	Induktivität und Kapazität	15
2.5	Transformator	17
2.6	Reihenschaltung	18
2.7	Parallelschaltung	19
2.8	Gleich- und Wechselstromtechnik	20
2.9	Mittelwert und Effektivwert	22
2.10	Elektrisches Verhalten des Lichtbogenbereiches	23
2.11	Elektrische Leistung	24
2.12	Berechnung der Lichtbogenleistung	26
2.13	Leitungsquerschnitt und Belastung von schweißstromführenden Leitern	27
2.14	Energie	28
2.15	Wirkungsgrad	29
2.16	Streckenenergie und Wärmeeinbringung	30
2.17	I-U-Ausgangskennlinie der Schweißstromquelle	30
2.18	I-U-Arbeitspunkte	31
2.19	Einschaltdauer	33
2.20	Steuerungs- und Leistungselektronik in der Schweißstromquelle	34
2.21	Digital gesteuerte Schweißstromquelle	34
2.22	Validierung und Kalibrierung von Strom und Spannung	36
2.23	Elektrische und technische Sicherheit	38
2.24	Elektromagnetische Felder (EMF)	40
2.25	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	41
2.26	Begriffe, Formelzeichen und Gleichungen	43
	Schrifttum	44
3	Werkstoffübergang, physikalische Wirkungen und Prozessregelung	46
3.1	Einführung	46
3.2	Werkstoffübergang (Lichtbogenart)	46
3.2.1	Möglichkeiten moderner Schweißstromquellen	46
3.2.2	Werkstoffübergang im Kurzschluss	47
3.2.3	Kurzschlussfreier Werkstoffübergang	47
3.3	Physikalische Wirkungen	48
3.3.1	Wärmeeinbringung	48

3.3.2	Kraftwirkungen	48
3.3.3	Zusammenhänge	48
3.4	Prozessregelung	49
3.4.1	Technischer Hintergrund der „klassischen“ Prozessregelung	49
3.4.2	Der Weg zur „modernen“ Prozessregelung	52
3.4.3	Synergiesteuerung	53
3.4.4	Dynamikverstellung	54
3.4.5	Komplexere Prozessregelungen	55
3.4.6	Start und Ende des Schweißprozesses	61
3.4.7	Dynamik während des Schweißens	62
3.4.8	Bedienung – Dynamikverstellung am Brenner	64
3.4.9	Anwendungshinweise zur Dynamikverstellung	64
3.4.10	Nützliche Einschränkung von Parametern	65
	Schrifttum	66
4	Prozessregelung des Metall-Schutzgasschweißens	67
4.1	Grundlegende Anforderungen an Schweißstromquellen	67
4.2	Vorschubgeschwindigkeit der Drahtelektrode	68
4.3	Regelung der Lichtbogenlänge	69
4.3.1	Delta- (Δ -) U-Regelung (äußere Regelung)	69
4.3.2	Delta- (Δ -) I-Regelung (innere Regelung)	70
4.4	Prozessregelvarianten	71
4.4.1	Ungeregelter Kurzlichtbogen	71
4.4.2	Geregelter Kurzlichtbogen	72
4.4.3	Spritzerarmer Kurzlichtbogen	73
4.4.4	Energiereduzierter Kurzlichtbogen	73
4.4.5	Leistungsgesteigerter Kurzlichtbogen	74
4.4.6	Sprühlichtbogen	74
4.4.7	Modifizierter Sprühlichtbogen	74
4.4.8	Impulslichtbogen: Der gesteuerte Tropfenübergang	75
4.4.8.1	U-U-Modulation	77
4.4.8.2	U-I-Modulation	78
4.4.8.3	I-I-Modulation	80
4.4.9	Modifizierter Impulslichtbogen	83
4.4.10	Wechselstromprozesse (MSG-AC-Schweißen)	84
4.4.11	Kombinierte Prozessregelvarianten	87
4.4.12	Zyklische Drahtbewegung	92
4.5	Anwendungshinweise	92
4.5.1	Technologische Zuordnung	92
4.5.2	Allgemeine Einstellung und Bedienung	93
4.5.3	Einstell- und Regelparametergrößen für das MSG-Impulsschweißen	96
4.6	Herstellerbezeichnungen	101
	Schrifttum	103
5	Anlagentechnik und Bedienkonzepte	104
5.1	Anlagen und Einrichtungen	104
5.1.1	Anlagenstruktur	104
5.1.2	Aufbau einer MSG-Schweißanlage	105
5.2	Einstellung und Bedienung	109

5.3	Bauarten von Schweißstromquellen	111
5.3.1	Anlagentechnik für den MSG-Wechselstrom- (AC-) Schweißprozess	111
5.4	Bedienkonzepte	113
5.4.1	„Einknopf-Bedienung“ (Synergiebetrieb) bei einer MSG-Schweißanlage	116
5.4.2	Theoretische Hintergründe der Anlageneinstellung	120
5.4.3	Einstellung und Handhabung der Schweißanlagen im Sinne des Arbeitsschutzes	123
	Schrifttum	123
6	Anpassen der Prozessvarianten an Schweißaufgaben und zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit	124
6.1	Stand der Technik	124
6.2	Lichtbogen-Hochleistungsschweißverfahren	125
6.2.1	Zur Geschichte	125
6.2.2	Einteilung der Lichtbogen-Hochleistungsverfahren	125
6.2.3	Vorteile der Hochleistungsverfahren	127
6.2.4	Hoher Entwicklungsstand der Hochleistungsverfahren	128
6.2.5	Digitalisierte Stromquellen – flexible und schnelle Prozessregelung ist möglich	128
6.2.6	Anwendungen	128
6.2.6.1	Schweißen mit Drahtelektroden großen Drahtdurchmessers	129
6.2.6.2	MSG-Tandemschweißen oder MSG-Doppeldrahtschweißen	130
6.2.6.3	MSG-Tandemschweißen in vielfältiger Anwendung	135
6.2.6.4	Laserstrahl-MSG-Hybridschweißen	135
6.2.7	Schlussbetrachtung und Ausblick	137
	Schrifttum	138
6.3	Lichtbogenlötens	138
6.3.1	Anwendung und Vorzüge des Lichtbogenlötens	138
6.3.2	Abgrenzung von Lichtbogenschweißen und Lichtbogenlötens	138
6.3.3	Definition und Einteilung der Verfahren	140
6.3.4	Zeichnungseintrag und Mechanisierung	141
6.3.5	Arbeitsweise und Anwendung der Lichtbogenlötverfahren	141
6.3.5.1	Kurzlichtbogenverfahren	142
6.3.5.2	Impulslichtbogenverfahren	142
6.3.6	Werkstoffe zum Lichtbogenlötens	143
6.3.6.1	Grundwerkstoffe	143
6.3.6.2	Oberflächenbeschichtung und -vorbehandlung	143
6.3.6.3	Verzinken als bewährtes Korrosionsschutzverfahren	144
6.3.6.4	Lotwerkstoffe und Schutzgase	145
6.3.7	Anforderungen an Lötanlagen	146
6.3.7.1	Energiequelle	146
6.3.7.2	Drahtvorschub	147
6.3.7.3	Brennerschlauchpaket	147
6.3.7.4	Lötbrenner	147
6.3.8	Nahtvorbereitung, Stoßarten und Lötgeometrien	147
6.3.8.1	Vorbereiten der Naht	147
6.3.8.2	Stoßarten und Anforderungen an die Nahtgeometrie	147
6.3.9	Anforderungen an die Nahtqualität	148
6.3.10	Prüfverfahren	149
6.3.11	Korrosionsschutz von Lötverbindungen	149

6.3.12	Nacharbeit von lichtbogengelöteten Nähten	150
6.3.13	Einsatzbereich von lichtbogengelöteten Verbindungen bei mechanischer und korrosiver Beanspruchung	150
6.3.14	Arbeitsschutz beim Lichtbogenlöten	150
	Schrifttum	150
7	Prozessgase zum Metall-Schutzgasschweißen	153
7.1	Eigenschaften und Einfluss der Prozessgase	153
7.1.1	Kriterien für die Auswahl der Schweißgase	153
7.1.2	Gaseherstellung	156
7.2	Normung der Prozessgase	157
7.2.1	Entstehung und Stand der Normung	157
7.2.2	Einteilung und Bezeichnung der Prozessgase	157
7.2.2.1	Einteilung	157
7.2.2.2	Bezeichnung	158
7.2.3	Reinheit und Mischtoleranz der Prozessgase	159
7.2.3.1	Reinheit	159
7.2.3.2	Mischtoleranz	160
7.3	Eigenschaften und Wirkung der Prozessgase	160
7.3.1	Allgemeines	160
7.3.2	Inerte und quasi-inerte Gase und Gasgemische	161
7.3.2.1	Argon	161
7.3.2.2	Helium	161
7.3.2.3	Argon-Helium-Gemische	162
7.3.2.4	Argon-Wasserstoff-Gemische	162
7.3.2.5	Argon-Helium-Wasserstoff-Gemische	162
7.3.2.6	Dotierte Gase	163
7.3.3	Aktive Gase und Gasgemische	164
7.3.3.1	Allgemeines	164
7.3.3.2	Kohlendioxid	164
7.3.3.3	Argon-Kohlendioxid-Gemische	165
7.3.3.4	Argon-Sauerstoff-Gemische	167
7.3.3.5	Argon-Kohlendioxid-Sauerstoff-Gemische	169
7.3.3.6	Heliumzumischungen	170
7.4	Gasversorgung	170
7.4.1	Einzelflaschen	170
7.4.2	Flaschenbündel	171
7.4.3	Tankversorgung	172
7.4.4	Mischanlagen	173
7.4.5	Zentrale Gasversorgung	174
7.4.6	Druckregler	174
7.4.7	Schläuche und Gasreinheit	177
7.5	Praktische Hinweise zur Anwendung	178
7.5.1	Erforderliche Gasmengen	178
7.5.2	Veränderungen an Gasdüsen	179
7.6	Sicherheit und Arbeitsschutz	180
7.6.1	Allgemeines	180
7.6.2	Gefahr durch Druck	180

7.6.3	Gefahr durch Ersticken	180
7.6.4	Brandgefahr	181
7.6.5	Tiefkalt verflüssigte Gase	181
	Schrifttum	181
8	Grundwerkstoffe und Schweißzusätze – Werkstoffarten, Prozesse und Anwendungstechnik	183
8.1	Schweißen von Stahlwerkstoffen	183
8.1.1	Allgemeine Hinweise zum Verhalten der Stahlwerkstoffe beim Schutzgasschweißen	183
8.1.2	Sorten und Eigenschaften von Stahlwerkstoffen zum Schutzgasschweißen	184
8.1.2.1	Unlegierte Baustähle	184
8.1.2.2	Unlegierte Qualitäts- und Edelstähle	188
8.1.2.3	Hochfeste Feinkornbaustähle	191
8.1.2.3.1	Normalisierend gewalzte Feinkornbaustähle	192
8.1.2.3.2	Thermomechanisch gewalzte Feinkornbaustähle	192
8.1.2.3.3	Flüssigkeitsvergütete Feinkornbaustähle	193
8.1.2.3.4	Kontrollierte Wärmeführung beim Schweißen hochfester Feinkornbaustähle	193
8.1.2.4	Korrosionsbeständige Stähle (hitzebeständige und warmfeste Stähle)	194
8.1.2.4.1	Austenitische Stähle	196
8.1.2.4.2	Duplexstähle	198
8.1.2.4.3	Ferritische Chromstähle	199
8.1.2.4.4	Martensitische Chromstähle	200
8.1.2.4.5	Hitzebeständige Stähle	201
8.1.2.4.6	Warmfeste Stähle	202
8.1.2.5	Kaltzähe Stähle	203
8.1.2.6	Stahlguss	206
8.1.2.7	Gusseisen	206
	Schrifttum	207
8.1.3	Schweißzusätze zum MSG-Schweißen von Stahlwerkstoffen	210
8.1.3.1	Anforderungen und Anwendung von Schweißzusätzen	210
8.1.3.2	Schweißen von Feinkornbaustählen	214
8.1.3.2.1	Eigenschaften der Grundwerkstoffe	215
8.1.3.2.2	Auswahl und Einfluss der Schutzgase	217
8.1.3.2.3	Auswahl der Drahtelektroden	217
8.1.3.2.4	Hinweise zur Verarbeitung	218
8.1.3.2.5	Schweißnahtvorbereitung	221
8.1.3.2.6	Herstellen der Schweißverbindung	221
8.1.3.2.7	Beispiel für das Festlegen von Schweißbedingungen	226
	Schrifttum	227
8.1.3.3	Schweißen von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen	229
8.1.3.3.1	Normung der Schweißzusätze	229
8.1.3.3.2	Hinweise zur Verarbeitung der Stähle	233
8.1.3.3.3	Schweißnahtvorbereitung	235
8.1.3.3.4	Auswahl und Anwendung der Schutzgase	235
8.1.3.3.5	Anwendungstechnik	237
8.1.3.3.6	Anlagen zum MSG-Schweißen	238
8.1.3.3.7	Herstellen der Schweißverbindung	238

8.1.3.3.8	Verfahren der Nachbehandlung	241
8.1.3.3.9	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	243
	Schrifttum	245
8.1.4	Schweißnahtvorbereitung und konstruktive Hinweise	248
	Schrifttum	252
8.1.5	Prüfung und Bewertung von Schweißverbindungen	252
	Schrifttum	254
8.2	Schweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen	256
8.2.1	Werkstoffspezifische Grundlagen	256
8.2.2	Einteilung und Bezeichnung der Aluminiumwerkstoffe	257
8.2.3	Einfluss der Legierungselemente	260
8.2.4	Lieferzustände der Aluminiumwerkstoffe	263
8.2.5	Konstruktive Besonderheiten	263
8.2.6	Korrosion bei Aluminium	265
8.2.6.1	Allgemeines	265
8.2.6.2	Einflüsse auf die Korrosion	265
8.2.6.3	Korrosionsarten	266
8.2.7	Werkstoffspezifische Besonderheiten beim Schweißen von Aluminium	267
8.2.7.1	Porenbildung durch Wasserstoff	267
8.2.7.2	Kondensation und Verschmutzung	268
8.2.7.3	Oxidschicht	269
8.2.7.4	Festigkeitsabfall in der Wärmeeinflusszone	269
8.2.7.5	Mischverbindungen (Knet- und Gusslegierungen)	271
8.2.7.6	Wärmeleitfähigkeit	271
8.2.7.7	Schrumpfung und Verzug	272
8.2.7.8	Heißrisse in Aluminiumschweißverbindungen	272
8.2.8	Schweißprozesse, Geräte, Schutzgase und Schweißzusätze	273
8.2.8.1	Lichtbogenarten	273
8.2.8.2	Schweißstromquellen und Schweißgeräte	276
8.2.8.3	Schutzgase für das Schweißen von Aluminiumwerkstoffen	282
8.2.8.4	Zusatzwerkstoffe	284
8.2.8.5	Mechanisierungsgrad	287
8.2.9	Fertigungstechnische Hinweise	289
8.2.9.1	Lagerung, Transport und Verarbeitung von Aluminium	289
8.2.9.2	Schweißnahtvorbereitung	291
8.2.9.3	Konstruktive Hinweise	291
8.2.9.4	Schweißposition, Schweißparameter (Richtwerte) und Vorwärmung	293
8.2.9.5	Durchführung des Schweißens	294
8.2.9.7	Prüfen und Bewerten der Schweißverbindungen	296
	Schrifttum	297
8.3	Schweißen von Nickel-, Titan- und Kupferwerkstoffen	299
8.3.1	Nickelbasislegierungen	299
8.3.2	Titanwerkstoffe	300
8.3.3	Kupferwerkstoffe	301
	Schrifttum	303

9	Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Fertigung	304
9.1	Überprüfung (Verifikation) von Stromquelle und Drahtvorschub in Lichtbogen- schweißeinrichtungen	304
	Schrifttum	
9.2	Sicherheitstechnische Überprüfung von Schweißgeräten und Schweißanlagen – Wiederholungsprüfung	313
9.2.1	Einführung	313
9.2.2	Grundsätze für den Unternehmer	314
9.2.3	Besonderheiten bei der Wiederholungsprüfung von Schweißgeräten und -anlagen ..	316
	Schrifttum	319
9.3	Schweißanweisungen – Bedeutung und Anwendung am Beispiel Tragwerkbau	321
9.3.1	Schweißanweisungen als Grundlage zur Qualifizierung der Fertigung	321
9.3.2	Hinweise zur Qualifizierung von Betrieben nach DIN EN 1090	322
9.3.3	Forderung nach qualifiziertem Schweißverfahren – Entwicklung der Verfahrens- qualifikation	322
9.3.4	Methoden zur Qualifizierung von Schweißverfahren – Beispiele nach DIN EN 1090	323
9.3.5	Schweißen nach einer Schweißanweisung (WPS)	324
9.3.6	Qualifizierung von Bedienern und Einrichtern nach DIN EN ISO 14732	326
	Schrifttum	327
10	Arbeitsschutz beim Lichtbogenschweißen	328
10.1	Allgemeine Hinweise für die Schweißaufsicht und das Schweißpersonal	328
10.2	DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“	330
10.3	DGUV Regel 100-500, Kapitel 2.26 „Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren“	330
10.4	Wesentliche Maßnahmen zum Arbeitsschutz beim Lichtbogenschweißen	333
10.5	Maßnahmen zur Ersten Hilfe bei einem Elektrounfall	337
	Schrifttum	339
11	Qualifizierung von schweißtechnischem Personal und von Schweißverfahren ..	341
11.1	Forderung von qualifiziertem Personal nach DIN EN ISO 3834	341
11.2	Ausbildung und Qualifizierung des internationalen Schweißers nach Richtlinie DVS-IIW/EFW 1111	341
11.3	Prüfung des internationalen Schweißers nach DIN EN ISO 9606	344
11.4	Prüfung von Bedienern und Einrichtern von Schweißanlagen nach DIN EN ISO 14732	346
11.5	Aufgaben und Verantwortung des Schweißaufsichtspersonals nach DIN EN ISO 14731	347
11.6	Forderung der Qualifizierung von Schweißverfahren	348
	Schrifttum	349
12	Glossar	350
	Sachwortverzeichnis	371