

Schuster

Schweißen von Eisen-, Stahl- und Nickelwerkstoffen

Leitfaden für die
schweißmetallurgische Praxis

Inhaltsverzeichnis

Ziel und Umfang dieses Leitfadens - ein Vorwort

1	Unlegierte Baustähle	9
1.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	9
1.2	Schweißtechnische Verarbeitung der unlegierten Stähle.....	10
1.3	Mischverbindungen mit unlegierten Baustählen	12
2	Höher- und hochfeste Feinkornbaustähle	15
2.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	15
2.2	Schweißtechnische Verarbeitung der höher- und hochfesten Feinkornbaustähle.....	15
2.3	Mischverbindungen mit hochfesten Stählen.....	19
3	Nickellegierte, kaltzähe Baustähle	21
3.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	21
3.2	Schweißtechnische Verarbeitung der nickellegierten, kaltzähen Baustähle	22
3.3	Mischverbindungen mit nickellegierten, kaltzähen Baustählen.....	25
4	Warmfeste (und druckwasserstoffbeständige) Stähle	27
4.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	27
4.2	Schweißen der warmfesten (und druckwasserstoffbeständigen) Stähle.....	29
4.3	Mischverbindungen mit warmfesten Stählen.....	31
5	Wetterfeste Stähle	33
5.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	33
5.2	Schweißen der wetterfesten Stähle	34
6	Hochfeste Sonderbaustähle mit erhöhtem Verschleißwiderstand	37
6.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	37
6.2	Schweißtechnische Verarbeitung verschleißfester Sonderbaustähle	38
7	Betonstahl	43
7.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	43
7.2	Schweißtechnische Verarbeitung von Betonstählen.....	45
8	Hartmanganstahl	47
8.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	47
8.2	Schweißtechnische Verarbeitung von Hartmanganstahl.....	47
8.3	Mischverbindungen mit Hartmanganstählen	48
9	Eisengußwerkstoffe	50
9.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	50
9.2	Schweißen von Eisengußwerkstoffen	51
9.3	Mischverbindungen mit Eisengußwerkstoffen	53
10	Chromstähle	55
10.1	Ferritischer Chromstahl.....	55
10.1.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	55

10.1.2	Schweißtechnische Verarbeitung der ferritischen Chromstähle	55
10.2	Martensitischer Chromstahl.....	57
10.2.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	57
10.2.2	Schweißtechnische Verarbeitung der martensitischen Chromstähle.....	58
10.3	Weichmartensitische Chrom-Nickel-Stähle.....	59
10.3.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	59
10.3.2	Schweißtechnische Verarbeitung der weichmartensitischen Chrom-Nickel-Stähle	59
10.4	Hitzebeständiger Chromstahl	60
10.4.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	60
10.4.2	Schweißtechnische Verarbeitung der hitzebeständigen Chromstähle.....	61
10.5	Mischverbindungen mit Chromstählen.....	62
11	Chrom-Nickel-(Molybdän-)Stähle.....	64
11.1	Austenitische Chrom-Nickel-(Molybdän-)Stähle	64
11.1.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	64
11.1.2	Schweißtechnische Verarbeitung der Chrom-Nickel-Stähle.....	65
11.2	Unstabilisierte austenitische Stähle	67
11.2.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	67
11.2.2	Schweißtechnische Verarbeitung.....	68
11.3	Stabilisierte austenitische Stähle	69
11.3.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	69
11.3.2	Schweißtechnische Verarbeitung.....	69
11.4	Austenitische Stähle mit erhöhtem Molybdängehalt	70
11.4.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	70
11.4.2	Schweißtechnische Verarbeitung.....	71
11.5	Hitze- und zunderbeständige austenitische Stähle.....	72
11.5.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	72
11.5.2	Schweißtechnische Verarbeitung.....	73
11.6	Zweiphasige Chrom-Nickel-Stähle (Duplexstähle)	73
11.6.1	Werkstoffübersicht - Grundwerkstoffe	73
11.6.2	Schweißtechnische Verarbeitung.....	75
11.7	Mischverbindungen mit Chrom-Nickel-(Molybdän-)Stählen.....	77
12	Schweißtechnische Verarbeitung artfremder Stähle.....	80
12.1	Allgemeine Hinweise.....	80
12.2	Schweißtechnische Verarbeitung, Anforderungen an Mischverbindungen	81
12.2.1	Anforderungen an Mischverbindungen	82
12.2.2	Schweißtechnologische Hinweise.....	83
12.2.3	Anforderungen an Schweißzusatzwerkstoffe für Mischverbindungen	84
12.3	Vermischung beim artfremden Schweißen	84
13	Nickel und Nickellegierungen	94
13.1	Allgemeines.....	94
13.2	Werkstoffkundliche Grundlagen.....	95
13.2.1	Erzeugung von Nickel	95
13.2.2	Physikalische Eigenschaften.....	95
13.2.3	Chemische Eigenschaften und Korrosionsverhalten.....	98
13.3	Nickel und Nickellegierungen	99
13.3.1	Reinnickel.....	99
13.3.2	Nickellegierungen.....	100
13.3.2.1	Übersicht über Nickellegierungen	100
13.3.2.2	Nickel-Kupfer-Legierungen	100

13.3.2.3	Nickel-Eisen-(Eisen-Nickel-)Legierungen	101
13.3.2.4	Nickel-Chrom-(Eisen-)Legierungen	101
13.3.2.5	Nickel-Chrom-(Kobalt-)Legierungen	101
13.3.2.6	Nickel-(Chrom-)Molybdän-Legierungen	101
13.3.2.7	Eigenschaften ausgewählter Nickellegierungen	102
13.3.2.8	Chemische Zusammensetzung wichtiger Nickellegierungen nach ISO	104
13.3.2.9	Art der Legierungsbildung ausgewählter Nickellegierungen	106
13.4	Schweißtechnische Verarbeitung	107
13.4.1	Grundregeln	107
13.4.2	Besonderheiten beim Schweißen von Nickel und Nickellegierungen	107
13.4.3	Porenbildung in Schweißverbindungen aus Nickellegierungen	107
13.4.4	Vorbereitung zum Schweißen	108
13.4.4.1	Wärmebehandlung und Wärmebehandlungszustand	108
13.4.4.2	Nahtvorbereitung beim Schweißen von Nickel und Nickellegierungen	109
13.4.5	Schweißtechnologische Hinweise	110
13.4.5.1	Lichtbogenhandschweißen	110
13.4.5.2	WIG-Schweißen	111
13.4.5.3	MIG-/MAG-Schweißen	111
13.4.5.4	UP-Schweißen	111
13.4.6	Schweißen plattierter Werkstoffe	112
13.4.7	Hemdauskleidung (Wallpapering)	112
13.5	Normung von Nickel und Nickellegierungen	114
13.5.1	DIN-Normen für Nickel und Nickellegierungen	114
13.5.2	ISO-Normen für Nickel und Nickellegierungen	115
13.6	Mischverbindungen mit Nickellegierungen	116
14	Übersicht über ausgewählte schweißmetallurgische Probleme	119
14.1	Korrosion von metallischen Werkstoffen	119
14.1.1	Vorbetrachtungen	119
14.1.2	Grundvorgang der elektrolytischen Korrosion	120
14.1.3	Übersicht über ausgewählte Korrosionsarten	121
14.1.4	Übersicht über wichtige Korrosionsprodukte	121
14.1.5	Ausgewählte Probleme zu speziellen Korrosionsarten	122
14.1.5.1	Gleichmäßige Flächenkorrosion	122
14.1.5.2	Mechanismus der interkristallinen Korrosion (IK)	123
14.1.5.3	Mechanismus der Messerlinienkorrosion (MIK)	124
14.1.5.4	Mechanismus der Spannungsrißkorrosion (SpK)	125
14.1.5.5	Mechanismus der Loch(fraß)korrosion (LK)	127
14.1.5.6	Mechanismus der Spaltkorrosion (SK)	128
14.1.5.7	Mechanismus der Kontaktkorrosion (KK)	129
14.1.6	Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Verminderung der Korrosionsgefahr	130
14.1.7	Untersuchung von Korrosionsvorgängen	130
14.2	Werkstoffbedingte Schweißfehler	133
14.2.1	Kaltrisse	133
14.2.1.1	Definition des Begriffes „Kaltriß“	133
14.2.1.2	Einflußgrößen auf die Kaltrißbildung	133
14.2.1.3	Aufhärtungsrisse	133
14.2.1.4	Wasserstoffinduzierte Risse	134
14.2.1.5	Lamellarrissigkeit, Terrassenbruch	136
14.2.1.6	Allgemeingültige Maßnahmen zur Vermeidung von Kaltrissen	137
14.2.1.7	Kaltrißprüfung	137
14.2.1.7.1	Allgemeines zur Kaltrißprüfung	137

14.2.1.7.2	Selbstbeanspruchte Kaltrißprüfung	138
14.2.1.7.3	Fremdbeanspruchte Kaltrißprüfung.....	139
14.2.2	Heißrisse.....	140
14.2.2.1	Definition des Begriffes „Heißriß“	140
14.2.2.2	Voraussetzungen für die Heißrißbildung.....	140
14.2.2.3	Mechanismus der Heißrißbildung.....	141
14.2.2.4	Erstarrungsrisse (solidification cracks).....	141
14.2.2.5	Wiederaufschmelzrisse (liquation cracks)	142
14.2.2.6	Risse durch Verformbarkeitsabfall, DDC.....	142
14.2.2.7	Möglichkeiten zur Heißrißvermeidung.....	144
14.2.2.7.1	Metallurgische Möglichkeiten	145
14.2.2.7.2	Technologische Möglichkeiten.....	145
14.2.2.8	Heißrißbildung und Deltaferrit	146
14.2.2.9	Heißrißprüfung	146
14.2.2.9.1	Selbstbeanspruchte Heißrißprüfverfahren	146
14.2.2.9.2	Fremdbeanspruchte Heißrißprüfverfahren.....	147
14.2.3	Hohlräume.....	150
14.2.3.1	Definition des Begriffes „Hohlraum“	150
14.2.3.2	Lunker	150
14.2.3.3	Poren	151
14.2.3.4	Einschlüsse.....	152
14.3	Deltaferrit in Schweißverbindungen hochlegierter Stähle	153
14.3.1	Allgemeines.....	153
14.3.2	Wirkungen des Deltaferrits in austenitischen Stählen und Schweißgütern.....	153
14.3.3	Bildungsmechanismus und Morphologie des Ferrits in austenitischen Cr-Ni-Stählen.....	153
14.3.4	Die Bestimmung von Ferrit	155
14.3.4.1	Zum Problem der Ferritmessung	155
14.3.4.2	Das Ferritzahl-System	157
14.3.4.3	Zustandsdiagramme.....	158
14.3.4.4	Die Ferritzahlmessung.....	159
14.3.5	Wirkungen der Schweißbedingungen auf den Ferritanteil im Schweißgut.....	159
14.3.6	Wirkungen von Wärmebehandlungen auf den Ferritanteil im Schweißgut	161
14.3.7	Spezifikation von Ferrit.....	161
14.3.7.1	Allgemeines.....	161
14.3.7.2	Ferritfreies oder -armes Schweißgut (0 bis 0,5 FN).....	162
14.3.7.2.1	Ferritanteil < 0,1 FN.....	162
14.3.7.2.2	Ferritanteil < 0,5 FN.....	162
14.3.7.3	Schweißgut mit niedrigen bis mittleren Ferritanteilen (3 bis 15 FN)	163
14.3.7.4	Schweißgut mit hohem Ferritanteil (> 15 FN).....	163
14.3.8	Einflüsse auf den gemessenen Ferritanteil.....	164
15	Hinweise zur Wärmebehandlung von Stählen und Schweißverbindungen	167
15.1	Empfehlungen zum Vorwärmen	167
15.1.1	Allgemeines.....	167
15.1.2	Vorwärmung von Stählen der Festigkeitsklasse S355 (St 52) nach DVS 1703.....	168
15.1.3	Vorwärmung von Feinkornbaustählen nach SEW 088 (t _{8/5} -Konzept).....	169
15.1.4	Vorwärmung beim Lichtbogenhandschweißen (Tabelle von MROSKO)	170
15.2	Die Wärmebehandlung von Grundwerkstoffen	173
15.2.1	Normalglühen (Normalisieren).....	173
15.2.2	Grobkornglühen	174
15.2.3	Weichglühen.....	174
15.2.4	Perlitglühen	175

15.2.5	Spannungsarmglühen	176
15.2.6	Diffusionsglühen	177
15.2.7	Härten und Anlassen	178
15.2.8	Vergüten	180
15.2.9	Praktische Hinweise für die Wärmebehandlung von Grundwerkstoffen	180
15.2.9.1	Abschätzen der Höhe der Glüh Temperatur	180
15.2.9.2	Richtwerte für das Aufheizen und Abkühlen von Stahlwerkstoffen	181
15.2.9.3	Aufheizgeschwindigkeit von Stahlguß	181
15.2.9.4	Haltezeit beim Spannungsarm- bzw. Normalglühen	182
15.2.9.5	Zeitwerte für die Wärmebehandlung von Schweißkonstruktionen	182
16	Die Europäische Normung von Stählen, Schweißzusätzen und Hilfsstoffen	184
16.1	Die Normung von Stählen	184
16.1.1	Allgemeines	184
16.1.2	Der Aufbau des Bezeichnungssystems	184
16.1.3	Hauptsymbole zur Bezeichnung von Stahlwerkstoffen	185
16.1.4	Zusatzsymbole zur Bezeichnung von Stahlwerkstoffen	186
16.1.5	Bezeichnungsbeispiele für Stähle nach Europäischer Normung	187
16.1.5.1	Bezeichnung entsprechend der mechanischen Eigenschaften	187
16.1.5.2	Bezeichnung entsprechend der chemischen Zusammensetzung	189
16.1.5.2.1	Niedriglegierte Stähle	189
16.1.5.2.2	Hochlegierte Stähle	191
16.2	Die Bezeichnung von umhüllten Stabelektroden für das Lichtbogenhandschweißen	194
16.2.1	Allgemeines	194
16.2.2	Der Grundaufbau einer Kurzbezeichnung für umhüllte Stabelektroden	194
16.2.2.1	Verbindlicher Teil	194
16.2.2.2	Nicht verbindlicher Teil	194
16.2.2.3	Bezeichnungen und Anforderungen	195
16.2.2.4	Bezeichnungsbeispiele	200
16.2.2.4.1	Bezeichnungsbeispiel nach EN 499 (unlegiert)	200
16.2.2.4.2	Bezeichnungsbeispiel nach EN 757 (hochfest)	200
16.2.2.4.3	Bezeichnungsbeispiel nach EN 1599 (warmfest)	201
16.2.2.4.4	Bezeichnungsbeispiel nach EN 1600 (rostbeständig)	201
16.3	Die Bezeichnung von Drähten und Schweißgütern beim Schutzgasschweißen	202
16.3.1	Grundaufbau einer Schweißgutbezeichnung nach EN 440	202
16.3.2	Bezeichnungen und Anforderungen	202
16.3.3	Bezeichnungsbeispiel für Schweißdrähte nach EN 440	204
16.3.3.1	Bezeichnung eines Schweißgutes	204
16.3.3.2	Bezeichnung einer Drahtelektrode für das Schutzgasschweißen	204
16.4	Die Bezeichnung von Drähten und Schweißgütern beim UP-Schweißen	205
16.4.1	Grundaufbau einer Schweißgutbezeichnung nach EN 756	205
16.4.2	Bezeichnungen und Anforderungen	206
16.4.3	Bezeichnungsbeispiel für Schweißdrähte nach EN 756	208
16.4.3.1	Bezeichnung einer Draht-Pulver-Kombination für das Mehrlagen-UP-Schweißen	208
16.4.3.2	Bezeichnung einer Draht-Pulver-Kombination für das Lage/Gegenlage-UP-Schweißen	209
16.4.3.3	Bezeichnung einer Drahtelektrode zum UP-Schweißen	209
16.5	Die Bezeichnung von Gasen zum Schutzgasschweißen und zum Schneiden	210
16.5.1	Einteilung der Schutzgase nach EN 439	210
16.5.2	Bezeichnungsbeispiele nach EN 439	211
16.6	Die Bezeichnung von Pulvern für das Unterpulverschweißen	211
16.6.1	Definition des Begriffes „Schweißpulver“	211
16.6.2	Der Grundaufbau einer Kurzbezeichnung für Schweißpulver	211

16.6.2.1	Verbindlicher Teil	212
16.6.2.2	Nicht verbindlicher Teil	212
16.6.2.3	Bezeichnungen und Anforderungen	213
16.6.2.4	Bezeichnungsbeispiel nach EN 760	216
16.6.3	Beschreibung der Schweißpulvertypen nach EN 760.....	216
16.6.3.1	Mangan-Silikat-Typ (MS)	216
16.6.3.2	Calcium-Silikat-Typ (CS).....	217
16.6.3.3	Zirkon-Silikat-Typ (ZS)	217
16.6.3.4	Rutil-Silikat-Typ (RS).....	217
16.6.3.5	Aluminat-Rutil-Typ (AR).....	217
16.6.3.6	Aluminat-basischer Typ (AB)	218
16.6.3.7	Aluminat-Silikat-Typ (AS).....	218
16.6.3.8	Aluminat-Fluorid-basischer Typ (AF).....	218
16.6.3.9	Fluorid-basischer Typ (FB)	219
16.6.3.10	Typen mit anderen Zusammensetzungen (Z).....	219
17	Anhang	221
17.1	Glossar - Begriffsdefinitionen	221
17.2	Anschriften ausgewählter Zusatzwerkstoffhersteller	243
17.3	Werkstoffvergleich - Grundwerkstoffe	244
17.3.1	Unlegierte Baustähle	244
17.3.2	Höher- und hochfeste Baustähle.....	245
17.3.3	Warmfeste Stähle.....	246
17.3.4	Kaltzähe, nickellegierte Baustähle.....	247
17.3.5	Druckwasserstoffbeständige Stähle	247
17.3.6	Wetterfeste Stähle.....	247
17.3.7	Chromstähle	248
17.3.7.1	Ferritische Chromstähle.....	248
17.3.7.2	Martensitische und ausscheidungshärtbare Chromstähle	249
17.3.8	Chrom-Nickel-Stähle.....	250
17.4	Weiterführende Literaturhinweise	251
17.4.1	Fachliteratur	251
17.4.2	Hinweise in Produkthandbüchern.....	257
17.5	Tabellenverzeichnis.....	258
17.6	Abbildungsverzeichnis	260
18	Sachwortverzeichnis	262