

Boese

Das Verhalten der Stähle beim Schweißen

Teil I: Grundlagen

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Die Metalle	1
1.1	Aufbau und Eigenschaften der Metalle	1
1.1.1	Die Elemente	1
1.1.2	Der Atomaufbau	2
1.1.3	Die Metalle	3
1.1.4	Der Kristall	5
1.1.5	Das kristalline Metallgefüge	8
1.1.6	Eigenschaften der Metalle	11
1.1.7	Metallegerungen	14
1.1.8	Die Kristallisation	17
1.1.9	Die Diffusion	19
2	Die Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	20
2.1	Übersicht über die Eisen-Kohlenstoff-Werkstoffe	20
2.1.1	Besonderheiten des Eisens	20
2.1.2	Die Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	20
2.2	Normgerechte Kennzeichnung der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	26
2.2.1	Einteilung nach der chemischen Zusammensetzung	26
2.2.1.1	Unlegierte Stähle	26
2.2.1.2	Legierte Stähle	27
2.2.2	Einteilung nach Hauptgüteklassen	28
2.2.2.1	Grundstähle	29
2.2.2.2	Qualitätsstähle	29
2.2.2.3	Edelstähle	29
2.2.3	Werkstoff-Kennzeichnung nach der Zugfestigkeit und der Streckgrenze	30
2.2.3.1	Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen nach DIN EN 10 025	30
2.2.3.2	Nahtlose Rohre aus unlegierten Stählen für besonders hohe Anforderungen nach DIN 1630 ..	30
2.2.3.3	Nahtlose Rohre aus warmfesten Stählen nach DIN 17 175 (zukünftig EN 10 216 Teil 2)	30
2.2.3.4	Elektrisch preßgeschweißte Rohre aus warmfesten Stählen nach DIN 17 177	31
2.2.3.5	Schweißgeeignete Feinkornbaustähle DIN EN 10 113 (bisher DIN 17 102)	31
2.2.3.6	Stahlrohre für brennbare Flüssigkeiten und Gase nach DIN 17 172 (zukünftig EN 10 208 Teil 2)	31
2.2.4	Benennung der Stähle nach DIN EN 10 027 Teil 1	31
2.2.4.1	Hauptsymbole nach DIN EN 10 027 Teil 1	31
2.2.4.2	Zusatzsymbole nach IC 10	32
2.2.4.3	Zusammenfassung der Hauptsymbole und der Zusatzsymbole	32
2.2.5	Werkstoffnummern nach DIN EN 10 027 Teil 2	32
2.2.6	Werkstoff-Kennzeichnung ohne feste Systematik	36
2.2.6.1	Unlegierte und legierte Druckbehälterstähle nach DIN EN 10 028 Teil 2 (bisher DIN 17 155) .	36
2.2.6.2	Unlegierte Schiffbaustähle nach Vorschriften des Germanischen Lloyd	36
2.2.6.3	Kaltband zum Kaltumformen nach DIN EN 10 130 (bisher DIN 1623 Teil 1)	36
2.2.6.4	Feinbleche aus allgemeinen Baustählen nach DIN 1623 Teil 2	37
2.2.6.5	Kaltbänder aus weichen unlegierten Stählen nach DIN 1624 (zukünftig EN 10 139).....	37
2.2.7	Gußwerkstoffe	37
2.2.8	Äußere Kennzeichnung von Stählen nach DIN 1599	38

2.3	Erschmelzen, Vergießen und Weiterverarbeiten von Stahl	39
2.3.1	Die Roheisengewinnung	39
2.3.2	Stahlherstellungsverfahren	40
2.3.3	Stahlvergießungsarten	43
2.3.4	Weiterverarbeitung	46
2.4	Das Zustandsschaubild Eisen – Kohlenstoff	46
2.5	Die Wärmebehandlung des Stahles	52
2.5.1	Glühen	56
2.5.2	Härten	63
2.5.3	Oberflächenhärten	66
2.5.4	Vergüten	67
2.5.5	Anlassen	69
2.6	Die Wirkung der Eisenbegleiter und Legierungselemente	69
2.6.1	Die chemische Zusammensetzung des Stahles	75
2.7	Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubild und seine Anwendung beim Schweißen	81
2.7.1	Einfluß der Abkühlgeschwindigkeit auf die Austenitumwandlung	81
2.7.2	ZTU-Schaubild	83
2.7.3	Isothermes ZTU-Schaubild	84
2.7.4	Kontinuierliches ZTU-Schaubild	86
2.7.5	Bedeutung des ZTU-Schaubildes für das Schweißen	88
2.7.6	Einschränkungen	91
2.8	Sonderprobleme	93
2.8.1	Kaltverformung	93
2.8.2	Rekristallisation	94
2.8.3	Warmverformung	98
2.8.4	Alterung	98
3	Die Schweißverbindung	101
3.1	Der Gefügebau der Schweißverbindung	101
3.1.1	Allgemeines	101
3.1.2	Die einlagige Schmelzschweißverbindung	101
3.1.3	Aufhärtung und Vorwärmen	105
3.1.4	Mehrlagenschweißen und Normalisieren	109
3.2	Unberuhigte Stähle	110
3.2.1	Schweißen von Kehlnähten	112
3.2.2	Schweißen von Stumpfstößen	112
3.2.3	Allgemeines	112
3.3	Härtbare Stähle	113
3.3.1	Aufhärtung beim Schweißen	113
3.3.2	Kohlenstoffäquivalent und Vorwärmtemperatur	113
3.4	Kaltverformte Stähle	116
3.5	Unterschiedlich zusammengesetzte Stähle	118
3.6	Nachbehandlung der Schweißverbindung	119
3.6.1	Thermische Nachbehandlung	120
3.6.2	Chemisch-mechanische Nachbehandlung	122
3.6.3	Mechanische Nachbehandlung	122

4	Der Schweißprozeß	123
4.1	Kleine Einführung in die Chemie des Schweißens	123
4.1.1	Physik oder Chemie?	123
4.1.2	Elemente und Verbindungen	123
4.1.3	Das chemische Rechnen	124
4.1.4	Das Molvolumen	124
4.1.5	Die Reaktionswärme	125
4.1.6	Die thermische Dissoziation	125
4.1.7	Die Wirkung des Katalysators	126
4.1.8	Verbrennung	126
4.1.9	Oxidation	127
4.1.10	Reduktion	127
4.1.11	Oxidation und Reduktion in erweiterter Bedeutung	127
4.1.12	Wichtige Verbindungsarten in der Chemie	128
4.2	Aufbau und Wirkungsweise umhüllter Stabelektroden	132
4.2.1	Metall-Lichtbogenschweißen	132
4.2.1.1	Aufgaben der Elektrodenumhüllung	133
4.2.1.2	Umhüllungsbestandteile	134
4.2.1.3	Umhüllungszusammensetzung	138
4.2.1.4	Das Verhalten der Schweißschlacke	141
4.2.1.5	Der Kernstab	146
4.3	Zur Metallurgie des Schweißvorganges	147
4.3.1	Der Vergleich Schweißvorgang – Lichtbogenschmelzofen	147
4.3.2	Das chemische Gleichgewicht	148
4.3.3	Schweißbarkeit und Zeitfaktor beim Schweißen	151
4.3.4	Physikalische und metallurgische Vorgänge beim Schmelzschweißen	152
4.3.4.1	Werkstoffübergang beim Lichtbogenhandschweißen	152
4.3.4.2	Das Schweißbad und sein Erstarren	157
4.3.4.3	Aufmischung des Schweißgutes aus dem Grundwerkstoff	159
4.3.4.4	Gase	161
4.3.4.5	Schlacke	164
4.4	Möglichkeiten der Wärmebehandlung in Verbindung mit dem Schweißen von Stählen	165
4.4.1	Einführung	165
4.4.2	Die Wärmebehandlung vor dem Schweißen	166
4.4.3	Die das Schweißen begleitende Wärmebehandlung	166
4.4.3.1	Schweißen mit Vorwärmen	167
4.4.3.2	Schweißen mit Nachwärmen	171
4.4.3.3	Schweißen mit Vor- und Nachwärmen	172
4.4.4	Die Wärmebehandlung nach dem Schweißen	173
4.4.5	Sonderbehandlungsarten	175
4.4.5.1	Kombination Wärmebehandlung vor dem Schweißen / das Schweißen begleitende Wärmebehandlung	176
4.4.5.2	Kombination Wärmebehandlung vor dem Schweißen / das Schweißen begleitende Wärmebehandlung / Wärmebehandlung nach dem Schweißen	176
4.4.6	Anwendungsbeispiel	177
5	Schweißzusätze und Hilfsstoffe	182
5.1	Terminologie und Normen	182
5.1.1	Terminologie der Schweißzusätze	182

5.1.2	Technische Lieferbedingungen	183
5.1.3	Normen	186
5.2	Stabelektroden nach DIN 1913	188
5.2.1	Einteilung der umhüllten Stabelektroden	189
5.2.2	Systematik der Klasseneinteilung	197
5.2.3	Mechanisch-technologische Gütwerte	198
5.2.4	Normkennzeichnung von Stabelektroden	199
5.3	Stabelektroden zukünftig nach EN 499	201
5.4	Gasschweißstäbe nach DIN 8554	203
5.4.1	Allgemeines	203
5.4.2	Chemische Zusammensetzung	204
5.4.3	Klasseneinteilung	204
5.4.4	Bezeichnung	204
5.5	Drahtelektroden für das Unterpulverschweißen	204
5.6	Schweißpulver für das Unterpulverschweißen	208
5.6.1	Begriffsbestimmung	208
5.6.2	Struktur und Herstellung	208
5.6.3	Zusammensetzung	210
5.6.4	Metallurgische Kennzeichnung	211
5.6.5	Kennzeichnung weiterer Eigenschaften	213
5.6.6	Zukünftige Bezeichnung nach EN 760	214
5.6.7	Allgemeines	214
5.6.8	Kennzeichnung des Schweißgutes von Draht-Pulver-Kombinationen	215
5.6.9	Zukünftige Bezeichnung nach EN 756	217
5.7	Schweißzusätze für das Schutzgasschweißen	217
5.7.1	Allgemeines	217
5.7.2	Drahtelektroden und Massivstäbe für das Schutzgasschweißen un- und niedriglegierter Stähle	217
5.8	Schutzgase für das Schutzgasschweißen nach DIN EN 439	219
5.9	Schweißzusätze für das Schutzgasschweißen nach europäischen Normen	223
5.10	Auswahl von Schweißzusätzen zum Verbindungsschweißen	224
5.10.1	Allgemeines	224
5.10.2	Stabelektroden	225
5.10.3	Gasschweißstäbe	232
5.10.4	Drahtelektroden und Schweißpulver zum Unterpulverschweißen	233
5.10.5	Schweißzusatzwerkstoffe und Schutzgase zum Schutzgasschweißen	236
5.11	Auswahl von Schweißzusätzen und Verfahren zum Auftragschweißen	237
5.11.1	Allgemeines	237
5.11.2	Verschleißprobleme	237
5.11.3	Schweißzusätze	238
5.11.4	Schweißtechnologie	240
5.11.4.1	Allgemeines	240
5.11.4.2	Schweißverfahren	241
Schrifttum	246
Sachverzeichnis	251