

2796-1203

Schultz

Elektronenstrahl- schweißen

2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage

Verzeichnis einiger Abkürzungen

1	Einführung	1
1.1	Geschichtlicher Rückblick	1
1.2	Die besonderen Merkmale und Vorteile des Elektronenstrahl-Schweißverfahrens ..	3
1.3	Sonstige Strahlschweißverfahren	5
2	Erzeugung des Elektronenstrahles	6
2.1	Freie Elektronen	6
2.2	Katode	7
2.3	Anode	8
2.4	Steuerelektrode	9
2.5	Raumladungsbetrieb	11
2.6	Fokussierlinse	13
2.7	Ablenksystem	14
2.8	Strahlkorrektursysteme	15
2.9	Elektronenstrahl-Kennwerte	17
2.9.1	Allgemeines	17
2.9.2	Aperturwinkel, Raumwinkel	17
2.9.3	Richtstrahlwert	17
2.9.4	Arata-Beam-Test	18
2.9.5	Leistungsdichteverteilung	18
2.9.6	Emittanz, Perveanz, Radianz	23
2.10	Vakuum	23
3	Verhalten des Elektronenstrahles beim Eindringen in Metalle	25
3.1	Allgemeines	25
3.2	Vorgänge an der Werkstückoberfläche	25
3.3	Tiefschweißeffekt	26
3.4	Folgerungen für den Schweißprozeß	32
4	Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis	34
4.1	Allgemeines	34
4.2	Beschleunigungsspannung	35
4.3	Strahlstrom	36
4.4	Linsenstrom, Fokuslage	37
4.5	Schweißgeschwindigkeit	41
4.6	Strahlableiten, Strahlpendeln	42
4.7	Strahlpulsen	45
4.8	Schweißen in Zwangsposition	46
4.9	Arbeitsdruck	49
4.9.1	Schweißen im Vakuum	49
4.9.2	Schweißen in Atmosphäre	50
4.10	Parameteroptimierung	51

5	Schweißbeignung metallischer Werkstoffe	55
5.1	Allgemeines	55
5.2	Verfahrensbedingte Einflüsse	55
5.2.1	Schmelz- und Dampfphase	55
5.2.2	Einfluß des Vakuums	55
5.2.3	Erstarrung	56
5.2.4	Wärmeeinflußzonen	59
5.2.5	Schweißbeignungen	60
5.3	Einteilung der Schweißbeignung	62
5.4	Stahl- und Eisenwerkstoffe	64
5.4.1	Un- und niedriglegierte Stähle	64
5.4.2	Hochlegierte Stähle	65
5.4.3	Gußeisen	69
5.5	Kupferwerkstoffe	69
5.6	Nickel- und Kobaltwerkstoffe	69
5.7	Aluminium- und Magnesiumwerkstoffe	70
5.8	Titanwerkstoffe	73
5.9	Sondermetalle	74
5.10	Werkstoffkombinationen	75
5.11	Werkstoffbedingte Strahlablenkungen	77
5.12	Festigkeits- und Korrosionseigenschaften	78
6	Vorbereitung der Werkstücke	80
6.1	Allgemeines	80
6.2	Werkstückoberfläche, Nahtfugenreinigung	82
6.3	Nahtgrundformen	85
6.3.1	I-Nähte	85
6.3.2	Kehlnähte, T-Stöße und sonstige Nahtformen	88
6.3.3	Besonderheiten von Rundnähten	90
6.4	Unterschiedliche Werkstückdicken	92
6.5	Maßtoleranzen	93
6.5.1	Spaltbreiten	93
6.5.2	Passungen	94
6.6	Stirnflächenbearbeitung	94
6.7	Nahtkontroll-Linien	95
6.8	Nahtanfang und -ende	95
6.8.1	Allgemeines	95
6.8.2	Längsnähte	95
6.8.3	Rundnähte	96
6.9	Schweißen mit Zusatz	96
6.9.1	Allgemeines	96
6.9.2	Konstruktive Maßnahmen	97
6.9.3	Schweißen großer Wanddicken mit Zusatz	97
6.9.4	Auftragschweißen, Reparaturschweißen	100
6.10	Entlüftungsöffnungen	101
6.11	Schweißen schwer zugänglicher Nähte	102
6.12	Schweißverzug	103
6.12.1	Allgemeines	103
6.12.2	Längsnähte	103
6.12.3	Rundnähte	104
6.13	Schweißvorrichtungen	107
6.14	Arbeitskammerabmessungen und Werkstückbewegung	108

7	Strahl- und Maschinensteuerungen	109
7.1	Allgemeines	109
7.2	Strahlstromsteuerungen	109
7.3	Slope-Steuerungen	110
7.4	Automatisches Fokussieren	111
7.5	Heizstromsteuerung	112
7.6	Fugensuchsysteme	113
7.6.1	Allgemeines	113
7.6.2	Off line	114
7.6.3	On line	114
7.6.4	Teach in und play back	114
7.7	Pumpensteuerungen	115
7.8	Steuerungssysteme	115
7.8.1	Allgemeines	115
7.8.2	SPS-Steuerungen	116
7.8.3	CNC-Steuerungen	118
8	Elektronenstrahl-Schweißmaschinen und Vorrichtungen	124
8.1	Maschinengrundaufbau	124
8.2	Elektronenstrahlgenerator	125
8.3	Arbeitskammer	128
8.4	Bewegungseinrichtungen	128
8.5	Hochspannungsversorgung, Steuer- und Regeleinrichtungen	131
8.6	Vakuumeinrichtungen	132
8.6.1	Allgemeines	132
8.6.2	Physikalische Grundlagen	132
8.6.3	Pumpen	133
8.6.4	Meßgeräte	138
8.6.5	Aufbau und Arbeitsweise von Vakuumanlagen	139
8.6.6	Pumpzeiten	142
8.7	Maschinen- und Vorrichtungsbeispiele	142
8.8	Atmosphäre-Schweißmaschinen	148
8.9	Aufstellen der Elektronenstrahl-Schweißmaschine	150
9	Fertigungsbeispiele elektronenstrahlgeschweißter Bauteile	151
9.1	Luft- und Raumfahrt, Turbinenbau	151
9.2	Getriebe- und Fahrzeugbau	156
9.3	Maschinenbau	160
9.4	Werkzeuge	163
9.5	Elektrotechnik	164
9.6	Apparatebau	166
9.7	Atmosphäregeschweißte Bauteile	168
10	Prüfen der Schweißmaschine	172
10.1	Grundlagen, Prüfbedingungen	172
10.2	Messen der elektrischen und mechanischen Parameterkennwerte	175
10.2.1	Beschleunigungsspannung	175
10.2.2	Strahlstrom	177
10.2.3	Linsenstrom	178
10.2.4	Schweißgeschwindigkeit	178
10.3	Messen der maschinentechnischen Kennwerte	179

10.3.1	Führungsgenauigkeit	179
10.3.2	Flecklagekonstanz	180
10.3.3	Druckanstiegsrate	182
10.4	Messen der Schmelzzonen-Tiefenschwankung	182
10.5	Prüfen des Röntgenstrahlenschutzes	183
11	Schweißanweisung	185
12	Prüfen des Bedien- bzw. Einrichtpersonals	186
12.1	Allgemeines	186
12.2	Prüfungsverfahren	187
12.3	Prüfbescheinigung	187
12.4	Prüfer und Prüfstelle	189
13	Verfahrensprüfung	190
14	Prüfen von geschweißten Nähten	193
14.1	Allgemeines	193
14.2	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	193
14.2.1	Sichtprüfung	193
14.2.2	Ultraschallprüfung	194
14.2.3	Durchstrahlungsprüfung	194
14.2.4	Eindring-, Wirbelstrom- und Magnetpulverprüfung	194
14.3	Zerstörende Prüfverfahren	194
14.3.1	Zugprüfung	194
14.3.2	Bruchprüfung	194
14.3.3	Biegeprüfung	195
14.3.4	Kerbschlagbiegeprüfung	195
14.3.5	Metallographische Prüfungen	195
14.3.6	Härteprüfung	196
14.3.7	Sonstige Prüfungen	197
15	Bewerten von Schweißnaht-Unregelmäßigkeiten	198
15.1	Allgemeines	198
15.2	Bewertungsgruppen	198
15.3	Risse, Poren, Lunker	199
15.4	Bindefehler, unvollständige Durchschweißung	200
15.5	Randkerben, Kantenversatz	201
15.6	Naht- und Wurzelunregelmäßigkeiten	201
15.7	Kehlnähte	202
15.8	Schweißspritzer	203
15.9	Schweißnaht-Nachbehandlungen	203
16	Qualitätssicherung	204
16.1	Allgemeines	204
16.2	Steuer-, Regel- und Überwachungssysteme	206
17	Kostenrechnung und Wirtschaftlichkeit	211
17.1	Allgemeines	211
17.2	Kostenaufwand	211
17.3	Kosteneinsparungen	214

18	Regelwerke	215
18.1	Normen, internationale, europäische und nationale	215
18.2	Werkstoffleistungsblätter	215
18.3	DVS-Merkblätter und -Richtlinien	216
18.4	Sonstige Regelwerke	216
19	Weitere Elektronenstrahl-Bearbeitungsverfahren	217
19.1	Allgemeines	217
19.2	Härten	218
19.3	Umschmelzen	220
19.4	Bohren, Perforieren	221
19.5	Kunststoffbearbeitung	223
20	Schrifttum	224
21	Stichwortverzeichnis	235
22	Bildnachweis	242