

Vorwort der 1. Auflage

In den 1940er Jahren hat das Bolzenschweißen seinen Einzug in die industrielle Fertigung begonnen. Heute werden täglich Millionen von Bolzen aufgeschweißt, Zum Teil geschieht dies von Hand mit pistolenartigen, teilmechanischen Geräten, zunehmend mit vollmechanischen Schweißanlagen, auch mit Robotern.

Als Vorteile dieser Technik sind unter anderem zu nennen:

- die vollflächige Verschweißung bei einseitigem Zugang zum Werkstück,
- der schnelle Schweißvorgang und die damit verbundene hohe Taktrate,
- die hohe Qualität und gute Reproduzierbarkeit der Schweißung,
- die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten,
- das vielfältige Angebot an Geräten bei verschiedenen Mechanisierungsgraden und industriell gefertigter Schweißelemente.

Bei diesen Hochleistungsverfahren sind aber viele Einflussgrößen zu beachten. Das Bolzenschweißen verlangt daher Wissen und Erfahrung. Das vorliegende Fachbuch soll dazu eine Hilfe bieten. Dabei wird der Bogen von der geschichtlichen Entwicklung und den Grundlagen über die Gerätetechnik, die Fertigung bei verschiedenen Anwendungen bis zur Qualitätssicherung und dem Regelwerk geschlagen. Der Leser wird um Verständnis dafür gebeten, dass manche Aspekte mehrfach auftauchen. Wer sich nur für bestimmte Teilbereiche interessiert, findet so leichter den Anschluss an benachbarte Themen.

Meinerzhagen und Krailling, im August 1997

R. Trillmich und W. Welz

Vorwort zur 2. Auflage

Das Fachbuch „Bolzenschweißen“ hat seit seinem ersten Erscheinen gute Aufnahme in der Fachwelt gefunden und damit einen lange geäußerten Wunsch nach einer umfassenden Darstellung der Bolzenschweißtechnik erfüllt. Umfangreiche Änderungen im schweißtechnischen Regelwerk und die Weiterentwicklung der Geräte erforderten nun eine Überarbeitung. Mein Mit-Autor Dr. Willy Welz verstarb im Jahr 2010; so musste die Überarbeitung ohne seine fachliche Begleitung erledigt werden. Dankenswerterweise hat mich neben einzelnen Fachleuten auch der DIN-DVS-Gemeinschaftsausschuss „Bolzenschweißen“ intensiv unterstützt. Die Namen aller Beteiligten sind hinter dem Inhaltsverzeichnis genannt.

Gleichzeitig möchte ich an dieser Stelle an die Verdienste von Dr. Willy Welz um die wissenschaftliche Erforschung der Bolzenschweißtechnik erinnern. Ohne seine zahlreichen Untersuchungen und Veröffentlichungen wäre dieses Fachbuch in der vorliegenden Form nicht entstanden.

Meinerzhagen, im Dezember 2014

R. Trillmich

Inhaltsverzeichnis

Vorworte

Danksagung

Geschichte des Bolzenschweißens

1	Einführung	1
2	Verfahren zum Lichtbogenbolzenschweißen	3
2.1	Bolzenschweißen mit Hubzündung	3
2.2	Bolzenschweißen mit Spitzenzündung	4
3	Verschiedene Verfahrensvarianten	6
3.1	Unterteilung der Varianten	6
3.2	Aufgaben und Eigenschaften von Hilfsmitteln	8
3.2.1	Keramikring	8
3.2.2	Schutzgas	9
3.2.3	Zusätze in der Bolzenspitze	10
4	Besonderheiten des Bolzenschweißens	12
5	Vorgänge und Einflussgrößen beim Bolzenschweißen	14
5.1	Schweißstromkreis beim Bolzenschweißen	14
5.2	Lichtbogen beim Bolzenschweißen	15
5.2.1	Lichtbogen beim Bolzenschweißen mit Hubzündung	15
5.2.1.1	Zünden	15
5.2.1.2	Schweißlichtbogen	16
5.2.2	Lichtbogen beim Bolzenschweißen mit Spitzenzündung	17
5.2.2.1	Zünden	17
5.2.2.2	Schweißlichtbogen	18
5.3	Blaswirkung	18
5.4	Einbrandform und ihre Bedeutung	22
5.5	Erstarrungsvorgang beim Bolzenschweißen und daraus folgende Unregelmäßigkeiten..	24
5.5.1	Physikalische und chemische Reaktionen	25
5.5.2	Maßnahmen zur Vermeidung von Poren	26
6	Hinweise für die Konstruktion und die Fertigung	28
6.1	Allgemeines	28
6.1.1	Bolzendurchmesser und Blechdicke	28
6.2	Hubzündungs-Bolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas	29
6.2.1	Bolzenform	29
6.2.2	Schweißwulst	29
6.2.3	Positionierung	30
6.2.4	Bolzenlänge	31
6.2.5	Eigenspannungen	32
6.2.6	Kraftumlenkung und Kerbwirkung	32
6.2.7	Blehdickenrichtung	32
6.2.8	Dehnlänge	33
6.2.9	Lochleibung	33

6.2.10	Schweißposition	33
6.2.11	Beschichtungen	34
6.3	Bolzenschweißen mit Kondensatorentladung	35
6.3.1	Bolzenformen	35
6.3.2	Bolzenlänge	35
6.3.3	Positionierung	35
6.3.4	Kerbwirkung	36
6.3.5	Schweißposition	36
6.3.6	Oberflächenbeschichtungen	36
6.3.6.1	Verzinkungen	36
6.3.6.2	Beschichtungen mit anderen metallischen Überzügen	37
6.3.6.3	Ölbeschichtung	37
6.3.6.4	Ungeeignete Beschichtungen	37
6.3.7	Rückseitenmarkierungen	38
6.3.8	Beeinflussung in der Nähe der Schweißstelle	38
6.4	Berechnungsgrundlagen	39
6.4.1	Bolzenschweißungen an Bauteilen mit vorwiegend ruhender Belastung	39
6.4.2	Kopfbolzen in der Befestigungstechnik	43
7	Werkstoffe zum Bolzenschweißen	44
7.1	Schweißbeignung der Werkstoffe – Übersicht	44
7.2	Bolzenschweißen von unlegiertem Stahl	48
7.2.1	Aufhärtung	48
7.2.2	Alterung und Feinkörnigkeit	50
7.2.3	Verformungsfähigkeit	51
7.3	Bolzenschweißen von legiertem Stahl	52
7.4	Bolzenschweißen von unlegiertem mit legiertem Stahl	53
7.4.1	Schweißungen von austenitisch-ferritischen Werkstoffen	53
7.4.2	Schweißungen von delta-ferritischen mit alpha-ferritischen Werkstoffen	54
7.5	Bolzenschweißen von Aluminium	55
7.5.1	Bolzenschweißen von Aluminium mit Spitzenzündung	56
7.5.2	Bolzenschweißen von Aluminium mit Hubzündung	56
8	Gerätetechnische Einflussgrößen und Schweißparameter	59
8.1	Einstellrichtwerte	59
8.2	Richtwerte für das Hubzündungs-Bolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas ..	59
8.2.1	Stromstärke und Schweißzeit	59
8.2.2	Hub- und Eintauchbewegung	62
8.3	Richtwerte für das Kurzzeit-Bolzenschweißen	65
8.3.1	Stromstärke, Schweißzeit und Hub	65
8.4	Bolzenschweißen mit Spitzenzündung	66
9	Gerätetechnik zum Bolzenschweißen	70
9.1	Stromquellen und ihre Entwicklung	70
9.1.1	Ungeregelte Schweißgleichrichter	70
9.1.2	Geregelte Schweißgleichrichter	73
9.1.2.1	Stromquellen mit Thyristorregelung	73
9.1.2.2	Inverterstromquellen	76
9.1.2.3	Kondensatoren als Stromquelle	78
9.1.3	Überlegungen zur Anschlussleistung von Schweißgleichrichtern	79
9.2	Bewegungsrichtungen	81

9.2.1	Mechanisch gesteuerte Vorrichtungen	81
9.2.2	Elektronisch gesteuerte Vorrichtungen	83
9.2.3	Bolzenbewegung durch Roboter	85
9.3	Automation von Bolzenschweißanlagen	85
9.3.1	Zuführung der Bolzen	86
9.3.2	Leistung der Anlagen und Positionierung	87
9.3.3	Automatische Zuführ- und Positioniersysteme zum Bolzenschweißen mit Keramikring	89
9.4	Bolzenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen	90
9.4.1	Prozessablauf beim Hülsenschweißen	90
9.4.1.1	Schweißelemente	91
9.4.1.2	Gerätetechnik	91
9.4.1.3	Qualität und Anwendungen aus der Praxis	91
9.4.2	Bolzenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen am Vollquerschnitt	92
10	Mechanisch-technologische Eigenschaften einer Bolzenschweißung und ihre Untersuchung	94
10.1	Statische Prüfungen von Bolzenschweißverbindungen	94
10.1.1	Zugprüfung	94
10.1.2	Biegeprüfung	95
10.1.3	Scherversuch	97
10.1.4	Drehmomentprüfung	97
10.2	Dynamische Beanspruchung von Bauteilen mit aufgeschweißten Bolzen	97
10.2.1	Zugschwellversuche	97
10.2.2	Biegewechselversuche am Bolzen	99
10.2.3	Biegewechselversuche am Blech	100
11	Qualitätssicherung von Bolzenschweißarbeiten und geltendes Regelwerk	103
11.1	Allgemeines	103
11.2	Normung	103
11.3	Bolzenherstellung	105
11.3.1	Aluminiumzusatz und Bolzenform	107
11.3.2	Korrosionsschutz und Lagerung	108
11.3.3	Ausblick	109
11.4	Gesetzlich geregelter Bereich	109
11.4.1	Stahltragwerke	109
11.4.2	Herstellerqualifikation im Stahltragwerksbau	110
11.4.3	Verbundkonstruktionen	110
11.4.4	Schienenfahrzeuge	111
11.4.5	Bestiftungen	111
11.5	Gesetzlich nicht geregelter Bereich	111
11.6	Qualitätsanforderungen nach DIN EN ISO 3834	112
11.7	Checkliste zur Qualitätssicherung	113
11.8	Unregelmäßigkeiten und Korrekturmaßnahmen	113
12	Prüfen von Bolzenschweißungen	118
12.1	Sichtprüfung	118
12.2	Kontrolle der Schweißparameter	119
12.3	Biegeprüfung	121
12.4	Biegeprüfung im elastischen Bereich	122
12.5	Durchstrahlungsprüfung	123
12.6	Zugprüfung	123

12.7	Ultraschallprüfung	124
12.8	Makroschliffe und Härteprüfung	124
12.9	Mikroschliffe	126
12.10	Andere Prüfungen	126
12.11	Prüfungen und Regelwerke außerhalb Deutschlands	126
12.11.1	Europäische Festlegung nach Eurocodes	126
12.11.2	USA	126
12.11.3	Anwendung von Verankerungen mit Kopfbolzen in den osteuropäischen Staaten	127
13	Fachpersonal	132
14	Arbeitsschutz, Gerätesicherheit und Wartung der Anlagen	133
14.1	Arbeitsschutz	133
14.2	Gerätesicherheit	134
14.3	Wartung der Anlagen	135
15	Anwendungen	137
15.1	Bolzenschweißen im Bauwesen	137
15.1.1	Verbundbau	137
15.1.2	Stahlverankerungen in Beton (Befestigungstechnik)	139
15.1.3	Durchschweißtechnik	142
15.1.4	Fassadenbau	144
15.1.5	Verglasungen	145
15.1.6	Schwarz-Weiß-Verbindungen	146
15.1.7	Werkstatt- oder Baustellenschweißung?	147
15.2	Bolzenschweißen im Automobilbau	147
15.3	Bolzenschweißen im Schiffbau	151
15.4	Bolzenschweißen im Feuerfestbau	154
15.4.1	Hitzebeständige Werkstoffe	154
15.4.2	Bolzen- und Verankerungswerkstoffe	155
15.4.3	Eigenschaften des Vormaterials	158
15.4.4	Korrosion	160
15.4.5	Versprödung und Duktilitätsverlust	161
15.4.6	Anwendungsbereiche und Befestigungssysteme	163
15.4.7	Allgemeiner Feuerfestbau	163
15.4.8	Kraftwerksanlagen	164
15.4.9	Qualitätsanforderungen nach DIN EN ISO 14555	167
15.4.10	Qualitätsanforderungen nach DIN EN ISO 3834	168
15.5	Bolzenschweißen in der Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutzisolierung	169
15.6	Bolzenschweißen im Anlagen- und Behälterbau	171
15.7	Bolzenschweißen im Verschleißschutzbereich	174
15.8	Bolzenschweißen auf hochfesten Stählen	175
15.9	Anwendungen für das Bolzenschweißen mit Spitzenzündung	176
16	Schrifttum	180