

Ersetzt Ausgabe Juni 1974

Inhalt:

- 1 Vorbemerkung
- 2 Hinweise zur Konstruktion
- 3 Auswahl der Verfahren und Geräte
- 4 Einflußgrößen
 - 4.1 Schweißvorbereitung
 - 4.1.1 Werkstück
 - 4.1.2 Bolzen
 - 4.1.3 Keramikring
 - 4.1.4 Schutzgas
 - 4.1.5 Stromquelle
 - 4.1.6 Schweißpistole und Schweißkopf
 - 4.1.7 Stromführung
 - 4.2 Schweißparameter
 - 4.3 Schweißdurchführung
- 5 Richtwertdiagramme
 - 5.1 Richtwerte für Lichtbogenschweißen mit Hubzündung mit Keramikring oder Schutzgas von Stahl
 - 5.2 Richtwerte für Kurzzeit-Bolzenschweißen mit Hubzündung von Stahl
 - 5.3 Richtwerte für Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Spitzenzündung von Stahl
- 6 Arbeitsanweisung – Checkliste
- 7 Prüfungen der Bolzenschweißungen
 - 7.1 Sichtprüfung
 - 7.2 Biegeprüfung
 - 7.3 Zugprüfung
 - 7.3.1 Normale Zugprüfung
 - 7.3.2 Zugprüfung mit Drehmomentschlüssel
 - 7.4 Makroschliffe
 - 7.5 Zuordnung von Qualitätsanforderungen zu den Prüfungen
 - 7.6 Zerstörungsfreie Prüfungen
- 8 Qualitätssicherung und Anforderungen an den Betrieb
- 9 Anforderungen an das Bedienungspersonal
 - 9.1 Bolzenschweißer
 - 9.2 Schweißaufsicht
- 10 Arbeitsschutz
- 11 Mitgeltende Normen und technische Regeln

1 Vorbemerkung

Dieses Merkblatt soll dem Praktiker Hinweise für den richtigen Einsatz des Lichtbogenbolzenschweißens geben. Es setzt dabei einige grundsätzliche Kenntnisse voraus, wie sie beispielsweise in den Merkblättern DVS 0902 „Lichtbogenbolzenschweißen mit Hubzündung“ und DVS 0903 „Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Spitzenzündung“ gegeben werden. Weitere Hinweise finden sich auch in den Normen DIN EN ISO 14555 „Lichtbogenbolzenschweißen von metallischen Werkstoffen“, DIN EN ISO 13918 „Bolzen zum Lichtbogenbolzenschweißen“ (DIN EN ISO 14555 hat DIN 8563-10, DIN EN ISO 13918 hat DIN 32500 und DIN 32501 ersetzt).

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muß jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

2 Hinweise zur Konstruktion

Bei einer Bolzenschweißkonstruktion sind zu klären:

1. Wo wird der aufgeschweißte Bolzen eingesetzt? (Einfache Haltefunktion oder mittlere und hohe Belastung?) Welche Vorschriften sind zu beachten?
2. Wie wird der Bolzen belastet? (Zug, Druck, Schub, Biegung, Vorsicht bei dynamischer Belastung! Versuche! Evtl. Korrosionsbelastung, besonders im Wulstbereich, prüfen. Gefahr von Lochfraß)
3. Nachweis der Tragsicherheit (zum Beispiel im Bauwesen nach DIN 18800-1:1990)
4. Welche Sicherheit wird verlangt? (Welche Gefahr besteht beim Versagen einer Schweißung?)
5. Welche Blechdicke liegt vor? (Beachte Verhältnis Blechdicke zu Bolzendurchmesser, s. Tab. 1)
6. Wurde der Schweißwulst berücksichtigt? (S. Maßangaben in DIN EN ISO 13918)
7. Möglichst genormte Bolzen (DIN EN ISO 13918) verwenden.
8. In welcher Position wird geschweißt? Wannenlage PA (Blech horizontal) bevorzugen. Vorsicht bei Hubzündung mit Bolzen an senkrechter Wand (PC): Durchmesser begrenzt auf etwa 16 mm, bei ungeeigneten Schweißbedingungen Gefahr von Bindefehlern und Unterschneidungen an der Oberseite des Bolzens.
9. Ist die Schweißstelle für die Pistole zugänglich und kann die Pistole nach dem Schweißen vom Bolzen abgezogen werden?
10. Welche Positioniergenauigkeit wird gefordert und wie kann sie erreicht werden? (Durch Anreißen, durch Körnerschlag (nicht bei Spitzenzündung!) ± 1 mm, Verbesserung durch Schablonen $\pm 0,8$ mm, durch Führungen $\pm 0,4$ mm, durch Sonderbolzenhalter $\pm 0,2$ mm). Durch Blaswirkung entsteht eine ungleichmäßige Schrumpfung des Schweißbades, dadurch Schiefstellung des Bolzens.
11. Bei beschichteten Blechen Versuche durchführen. Vorsicht bei stark gasenden Schichten, evtl. vor dem Schweißen entfernen.
12. Werden Anforderungen an das Aussehen der Werkstückrückseite gestellt? Wenn ja, Verfahren mit kurzer Schweißzeit wählen.
13. Beachte: Die Kraftumlenkung vom Bolzen in das Werkstück ist mit einer Kerbwirkung verbunden. Mit dem Schweißvorgang treten hohe Eigenspannungen im Werkstück auf. Der aufgeschweißte Bolzen verringert die Dauerfestigkeit des Werkstücks.
14. Bei der Werkstoffauswahl Schweißseignung berücksichtigen (siehe DIN EN ISO 14555).
15. Bei hoher Belastung und hohen Sicherheitsanforderungen mehrere Bolzen anbringen.

16. Belastungsversuche: Bolzen bis zum Bruch belasten (zum Beispiel hydraulisch oder mit Drehmomentschlüssel), dann entsprechenden Sicherheitsfaktor (mind. 2fach) berücksichtigen.
17. Lochleibungskräfte können nicht auf mehrere Bolzen verteilt werden – zu ungenaue Passung.
18. Welche Vorrichtungen können die Schweißdurchführung erleichtern?

3 Auswahl der Verfahren und Geräte

Bei der Auswahl der Verfahren und Geräte für einen oder mehrere Anwendungsbereiche sind zu klären:

Bolzendurchmesser, Blechdicke, Qualitätsanforderungen (Festigkeit, Aussehen der Rückseite), Bolzenstückzahl pro Minute, Arbeitsbedingungen wie Schweißposition, Schweißbadschutz, Zuführung der Bolzen (manuell oder mechanisch, Zuführung der Keramikringe vorwiegend von Hand).

Die möglichen Verfahrensvarianten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Dabei ist zu beachten:

1. Die Verfahren sind jeweils nur in einem begrenzten Durchmesserbereich einzusetzen.
2. Das Hubzündungsbolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas erzielt bei Stahl porenarme Verbindungen: mit Keramikring bis 25 mm, mit Schutzgas (Ar + 18 % CO₂) bis 16 mm Bolzendurchmesser. Beachte: mit zunehmendem Durchmesser wirkt sich die Blaswirkung stärker aus. Das Kurzzeitbolzenschweißen wird im allgemeinen mit Schutzgas bis 12 mm Bolzendurchmesser, ohne Schutzgas (mit größerem Porenanteil) bis 8 mm eingesetzt.
3. Das Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Spitzenzündung wird vorwiegend für einfache Haltefunktionen mit Bolzen bis 8 mm Durchmesser verwendet. Die sehr kurze Schweißzeit (1 – 3 ms) führt zu sehr flachen Schmelzzonen (etwa 0,1 mm dick) und erlaubt das Schweißen von Stahl, Aluminium und anderen Werkstoffen und -kombinationen. Der Porenanteil in der Schweißfläche beträgt etwa 30 %. Beim Schweißen entsteht ein Knall.
4. Das Aluminium-Bolzenschweißen mit Hubzündung wird nur bis 12 mm Bolzendurchmesser mit den Schutzgasen Argon und Argon-Helium-Gemischen durchgeführt. Es setzt eine sehr gute Schutzgasvorrichtung und saubere Oberflächen voraus.
5. Hub- und Spitzenzündungs-Bolzenschweißen unterscheiden sich in der Verfahrens- und Gerätetechnik und in der Bolzenform. Die Bolzen haben bei der Hubzündung flache bis kegelförmige, bei der Spitzenzündung kleine, genau dimensionierte, zylindrische Zündspitzen mit einem angestauchten Flansch, um dem größeren Porenanteil in der Schweißfläche entgegenzuwirken.

ierte, zylindrische Zündspitzen mit einem angestauchten Flansch, um dem größeren Porenanteil in der Schweißfläche entgegenzuwirken.

6. Die schweißgeeigneten Werkstoffe und -paarungen sind in den Merkblättern DVS 0902 und DVS 0903 sowie in den Normen DIN EN ISO 14555 und für Bolzen in der DIN EN ISO 13918 zusammengestellt.

7. Das Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Hubzündung wird in Deutschland nur noch selten eingesetzt.

Die Herstellerfirmen bieten ein umfangreiches Sortiment an Bolzenschweißgeräten an. Das Angebot reicht von Geräten mit Bolzenschweißpistolen bis zu CNC-Bolzenschweißanlagen. Allgemein gilt: je größer der zu verschweißende Bolzendurchmesser, um so schwerer und größer sind die Geräte.

Bei der Auswahl der Geräte sollte man die Erfahrung der Hersteller berücksichtigen. In den meisten Fällen wird man sich durch Versuchsschweißungen am Objekt ein Bild vom Aussehen und der Festigkeit der Bolzenschweißung verschaffen können. Dazu sind den Herstellern genügend Musterteile für Versuche zu überlassen.

Beachte: Die Produkthaftung der Hersteller kann sich nur auf die gelieferten Geräte und Bolzen beziehen, nicht auf die Qualität der aufgeschweißten Bolzen. Die Schweißqualität wird von vielen Einflussfaktoren während der Fertigung im Betrieb bestimmt.

4 Einflussgrößen

Auf das Schweißergebnis haben viele Faktoren Einfluß. Sie betreffen:

- Schweißvorbereitung
- Wahl der Schweißparameter
- Schweißdurchführung

4.1 Schweißvorbereitung

4.1.1 Werkstück

Das Werkstück soll fest aufliegen und der Bediener einen ausreichend festen Stand haben. Die Pistole muß sich senkrecht aufsetzen und ohne Behinderung wieder abziehen lassen.

Die Schweißstelle soll trocken und möglichst metallisch blank sein. Feuchtigkeit, Verunreinigungen und Beschichtungen erhöhen die Porenzahl im Schweißgut, besonders bei Verfahren mit kurzer Schweißzeit.

4.1.2 Bolzen

Die Bolzenspitze muß die richtige Form für das gewählte Verfahren haben. Bei Hubzündung mit Keramikring: flache Bolzenspitze oder Kegelmittel mit eingepreßter Aluminiumkugel oder Spritzschicht (besonders bei Bolzendurchmesser > 10 mm). Die Form

Tabelle 1. Arbeitsbereiche der Verfahrensvarianten beim Bolzenschweißen.

Variante	Schweißzeit [ms]	Bolzendurchmesser d [mm] <i>Einschränkung in Querposition (PC)</i>	Stromstärke [A]	Schweißbadschutz	Mindestblechdicke
Hubzündungs-Bolzenschweißen mit Keramikring	> 100	3 bis 25 3 bis 16 (19)	300 bis 3000	Keramikring	1/4 d, aber mind. 1 mm
Hubzündungs-Bolzenschweißen mit Schutzgas	> 100	3 bis 16 3 bis 8	300 bis 2000	Schutzgas	1/8 d, aber mind. 1 mm
Kurzzeit-Bolzenschweißen mit Hubzündung	≤ 100	3 bis 12	bis 1800	kein oder Schutzgas	1/8 d, aber mind. 0,6 mm
Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Hubzündung	< 10	2 bis 8	bis 3000 (Spitze)	kein	1/10 d, aber mind. 0,5 mm
Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Spitzenzündung	≤ 3	0,8 bis 8	bis 10000 (Spitze)	kein	1/10 d, aber mind. 0,5 mm

beeinflusst Hub und Überstand. Beim Schweißen mit Schutzgas: ohne Al-Zusatz besseres Wulstaussehen. Bei Kurzzeit: flacher Kegelwinkel zwischen 150° und etwa 166°. Bei Spitzenzündung: Zündspitze nicht beschädigen, sie muß konstanten Bolzendurchmesser ($\pm 0,08$ mm) und Länge ($\pm 0,05$ mm) haben.

Die Bolzen müssen, besonders an der Schweißspitze, metallisch blank und trocken sein. Bei der automatischen Förderung von Bolzen mit stark geölter Druckluft kann sich das Schweißergebnis erheblich verschlechtern.

4.1.3 Keramikring

Keramikringe und Bolzen müssen zusammenpassen. Achtung vor Verwechslung! Spiel zwischen Bolzen und Ring liegt im allgemeinen zwischen 0,3 mm bei 6 mm Bolzendurchmesser und 1 mm bei 25 mm Bolzendurchmesser, es muß ein Raum zur Aufnahme des Schweißbades vorhanden sein, das am Ende der Schweißung den Wulst bildet. Ausreichender Überstand muß möglich sein. Keramikringe trocken lagern.

4.1.4 Schutzgas

Die Schutzgasvorrichtung soll oben abgedichtet sein. Auf die Verwendung des geeigneten Schutzgases ist zu achten (Stahl und nichtrostender Stahl: 82 % Ar + 18 % CO₂, bei Al: Reinargon oder Ar + He). Die richtige Gasmenge (4 bis 6 l/min) sowie ausreichende Vorströmzeit zur Spülung sind einzustellen. Bei nichtrostenden Stählen über 16 mm Bolzendurchmesser hat sich Schutzgas zusätzlich zum Keramikring bewährt.

4.1.5 Stromquelle

Die Stromquelle muß für das gewählte Verfahren und den Bolzendurchmesser geeignet sein. Auf ausreichend hohe Stromstärke achten (siehe Richtwerttabellen). Bei kleinen Bolzen soll eine ausreichende Abstufung nach unten möglich sein.

Die Netzanschlußleistung und -absicherung muß der Aufgabe entsprechen. Anhaltswerte für Durchmesser 13: 70 kVA, 50 A, für Durchmesser 16: 90 kVA, 63 A, für Durchmesser 22: 135 kVA, 100 A, jeweils träge Absicherung.

Die Stromquelle muß für eine ausreichende Einschaltdauer (ED) ausgelegt sein. Bei zu starker Erwärmung sinkt der Schweißstrom, dadurch steigt die Porenzahl im Schweißgut.

4.1.6 Schweißpistole und Schweißkopf

Der Kolben der Schweißpistole oder des Kopfes muß sich in beiden Richtungen auch bei aufgesetztem Keramikring weitgehend reibungsfrei bewegen lassen. Bei Reibung im Keramikring: Zentrierung der Fußplatte prüfen!

Die Eintauchgeschwindigkeit ist bei Hubzündung bis 14 mm Durchmesser etwa 200 mm/s. Bei größeren Bolzen soll sie etwa 100 mm/s betragen; dies wird im allgemeinen durch Dämpfungsglieder erreicht; die Wirksamkeit ist zu prüfen!

Bei Spitzenzündung: mit Spalt Eintauchgeschwindigkeit bis 1000 mm/s, ohne Spalt spielt die Federkraft eine wichtige Rolle. Bolzenbewegung bestimmt die Schweißzeit.

Bei Hubzündung: Der eingestellte Hub muß zuverlässig und wiederholgenau erreicht werden. (Bei zu geringem Hub: Tropfenkurzschlüsse, Schrumpfrißgefahr.) Übliche Schweißpistolen mit Längenausgleich und Kolbenklemmung durch Hubbewegung sind verschleißanfällig. Der Streubereich des Hubes wird mit zunehmendem Verschleiß größer.

Der Bolzen muß bei brennendem Lichtbogen in die werkstückseitige Schmelze eintauchen. Kaltes Eintauchen verursacht Schweißfehler. Indizien für kaltes Eintauchen sind verformungsarme Brüche im Biegeversuch und blanke Stellen im Außenbereich der Schmelze. Ursache ist meist außergewöhnliche Reibung von Kolben oder Bolzen (zum Beispiel durch starke Spritzer).

4.1.7 Stromführung

Schweißkabel verursachen Spannungsabfall. Auf ausreichende Kabelquerschnitte primär und sekundär achten. Zulässige Kabelängen nicht überschreiten.

Einwandfreier Kontakt muß an allen Stromübergangsstellen (auch im Werkstück) gewährleistet sein (Sauberkeit, ausreichende Klemmkraft der Massezwingen und des Bolzenhalters).

Anschlußklemmen der Massekabel und mögliche Ausgleichsmassen so anordnen, daß keine magnetische Blaswirkung auftritt. Stromführende Kabel sollen ausreichenden Abstand vom Lichtbogen haben.

Kabelringe und Schleifen verringern bei Spitzenzündung den Schweißstrom und verlängern durch erhöhte Induktivität die Stromflußzeit. In Sonderfällen kann dabei in Verbindung mit geringerer Federkraft eine längere Schweißzeit erreicht werden.

4.2 Schweißparameter

Die nachfolgenden Schweißparameter müssen in Abhängigkeit vom Bolzendurchmesser und den Randbedingungen (Werkstückdicke, Schweißposition, Oberflächenbeschaffenheit usw.) optimiert und konstant gehalten werden. Es sind dies

bei Hubzündung

Schweißstrom, Schweißzeit (an der Stromquelle einzustellen), Hub, Überstand, Eintauchgeschwindigkeit (meist an der Pistole einzustellen)

bei Spitzenzündung

Ladespannung, Kapazität des Kondensators (an der Stromquelle einzustellen), Federkraft, Spalt und damit Eintauchgeschwindigkeit (an der Pistole einzustellen)

Beim Erarbeiten der Schweißparameter geht man von den Richtwertdiagrammen (siehe 5.1 bis 5.3) aus, prüft durch Sicht- und Biegeprüfung, bei höheren Anforderungen auch nach Abschnitt 7, ändert und optimiert so die Werte:

bei zu geringer Anschmelzung: Erhöhen von Strom oder Ladespannung

bei zu starker Spritzerbildung: Verringern der Schweißzeit durch Erhöhen der Eintauchgeschwindigkeit (Erhöhen der Federkraft oder des Spaltes)

bei einseitiger Wulstbildung oder einseitigem Spritzerkranz: magnetische Blaswirkung vermeiden, zum Beispiel Masseklemmen versetzen oder Fußplatte zentrieren

bei unzureichendem Eintauchen: Überstand vergrößern, Zentrierung des Keramikringes überprüfen, Kolbenbewegung kontrollieren

bei starker Porenbildung in der Schweißzone (festgestellt durch Biegeversuch): Strom erhöhen und Schweißzeit verringern, Gasschutz verbessern, Werkstückoberfläche säubern, Keramikringe trocknen.

Die optimierten Schweißdaten sollten unter genauer Angabe der Arbeitsbedingungen (Bolzendurchmesser, Werkstoffe, Bolzentyp, Schweißposition, Geräte- und Pistolentyp) im Fertigungsbuch festgehalten werden.

4.3 Schweißdurchführung

Bei der Durchführung der Schweißungen ist auf folgende Punkte zu achten:

- Alle Verbindungen im Schweißkreis fest anziehen (Masseklemmen am Werkstück, Bolzenhalter an der Pistole, Schweißkabelstecker in der Stromquelle).
- Bolzen in den Bolzenhalter bis zum festen Anschlag einschieben.
- Pistole senkrecht aufsetzen und gegen Federkraft andrücken.
- Schweißvorgang auslösen.
- Nach dem Schweißen Pistole bis zum Erkalten des Schweißbades ruhig halten.
- Pistole (am besten mit einer Drehung im Uhrzeigersinn) senkrecht nach oben abziehen, dabei Bolzenhalter nicht beschädigen.