

Ersetzt Ausgabe Oktober 2001

Inhalt:

- 1 Einleitung
- 2 Besondere Merkmale des Elektronenstrahlschweißens
 - 2.1 Leistungsdichte
 - 2.2 Schmelz- und Wärmeeinflusszonen
 - 2.3 Maßhaltigkeit
- 3 Nahtvorbereitung
 - 3.1 Werkstückoberfläche
 - 3.2 Spaltbreiten, Passungen
 - 3.3 Hohlkörperentlüftung
 - 3.4 Störende Strahlablenkung
- 4 Nahtarten
 - 4.1 Allgemeines
 - 4.2 Nachbearbeitung
 - 4.3 Schweißnähte ohne Untertraupe
 - 4.4 Kehlnähte und Stichnete am T-Stoß
- 5 Konstruktionsbeispiele und sonstige Hinweise
 - 5.1 Nahtanfang und Nahtende
 - 5.2 Unterschiedliche Werkstückdicken
 - 5.3 Schweißen mit Zusatzwerkstoff
 - 5.4 Beidseitiges Schweißen
 - 5.5 Schweißen von Rundnähten
 - 5.6 Schweißen in engen Spalten
 - 5.7 Schweißen schwer zugänglicher Nähte
 - 5.8 Spannvorrichtungen, Spritzerschutz, Schutz vor Gegen-schweißen im Rohr
 - 5.9 Arbeitskammerabmessungen
 - 5.10 Schweißen mit verschiedenen Arbeitsdrücken
- 6 Schrifttum

1 Einleitung

Mit dem vorliegenden Merkblatt sollen dem Konstrukteur Hinweise gegeben werden, wie die vielseitigen Möglichkeiten des Elektronenstrahl-(EB-)Schweißprozesses im Vakuum vorteilhaft genutzt werden können und welche fertigungstechnischen Erfordernisse dabei zu beachten sind. Es wurden Empfehlungen und Konstruktionsbeispiele ausgewählt, die für viele Industriezweige allgemeine Gültigkeit haben.

Eine Beschreibung der prozesstechnischen Grundlagen sowie der Elektronenstrahl-Schweißanlagen enthält [1]. Die Verhältnisse beim Elektronenstrahlschweißen an Atmosphäre (Non-Vac-, NV-EBW) werden in einem späteren Merkblatt beschrieben.

2 Besondere Merkmale des Elektronenstrahlschweißens

Das Elektronenstrahlschweißen im Vakuum weist gegenüber anderen Schmelzschweißprozessen folgende Merkmale auf:

2.1 Leistungsdichte

Die hohe Leistungsdichte (der Begriff „Leistungsflussdichte“ ist ebenfalls gebräuchlich) des fokussierten Elektronenstrahls ermöglicht das Schweißen auch von Werkstücken mit Wanddicken

von 100 mm und mehr in einem Arbeitsgang. Sie erlaubt es auch, Werkstoffe mit unterschiedlich hohen Schmelztemperaturen oder mit wesentlich unterschiedlichen Dicken zu verbinden.

2.2 Schmelz- und Wärmeeinflusszonen

Die Schmelz- und Wärmeeinflusszonen sind wesentlich schmaler als zum Beispiel bei Lichtbogen-Schweißverbindungen; entsprechend geringer ist damit auch die Wärmebeeinflussung des Grundwerkstoffs. Auch im Vergleich zum Elektronenstrahlschweißen an Atmosphäre oder dem artverwandten Laserstrahlschweißen ergibt sich meist eine geringere Wärmeeinbringung

2.3 Maßhaltigkeit

Aus den bisherigen Prozessmerkmalen – hohe Schweißgeschwindigkeit, schmale und weitgehend parallele Schmelz- und Wärmeeinflusszonen – resultiert weiterhin eine besonders hohe Maßhaltigkeit elektronenstrahlgeschweißter Bauteile.

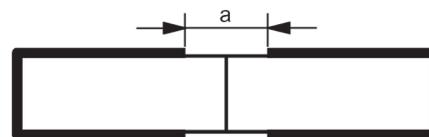
3 Nahtvorbereitung

3.1 Werkstückoberfläche

Die zu schweißenden Werkstücke sind vollständig zu entfetten und im Nahtbereich metallisch blank zu reinigen. Durch Aufkohlen, Nitrieren, Eloxieren, Phosphatieren, Chromatieren usw. erzeugte Werkstoffschichten müssen im Nahtbereich entfernt werden (Merkblatt DVS 3213), Bild 1. Sie können Poren und Risse in der Schmelzzone und dadurch eine Minderung der Schweißnahtfestigkeit verursachen. Zum Entfernen dieser Werkstoffschichten eignen sich insbesondere spanende Bearbeitungsverfahren. Beim Entgraten der Werkstücke ist nach Möglichkeit ein Anfasen im Nahtbereich zu vermeiden.



Werkstücke randschichtbehandelt.



Werkstücke zum Elektronenstrahlschweißen vorbereitet. $a > 3 \times$ Nahtbreite.

Bild 1. Vorbereitung randschichtbehandelter Werkstücke.

3.2 Spaltbreiten, Passungen

Da meist ohne Zusatzwerkstoffe mit vertikaler Strahlachse am Werkstück in Schweißposition PA nach DIN EN ISO 6947 geschweißt wird und die Schmelzzone schmal ist, müssen die Stirnflächen sorgfältig bearbeitet werden. Größere Spielräume stehen

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.

beim Schweißen mit horizontaler Strahlachse (PC) bezüglich Nahtvorbereitung und Nahtausbildung zur Verfügung. Größere Spaltbreiten können zwar bei Einschweißungen mit vertikaler Strahlrichtung und bei Durchschweißung durch Verbreitern der Schmelzzone (geringere Schweißgeschwindigkeit, Strahlpendeln, Strahldefokussieren usw.) überbrückt werden, die Neigung zu Randkerben, Nahtdurchhang und Bindefehlern nimmt jedoch deutlich zu. Empfohlen wird der technische Nullspalt! Die Oberflächenqualität der Stirnflächen sollte N7, mindestens N8 sein (DIN ISO 1302).

Besonders ungünstig machen sich Spalte beim Schweißen von Axialrundnähten bemerkbar. Die Querschrumpfung am Nahtanfang führt zur Vergrößerung der Spaltbreite in dem der Schweißstelle gegenüberliegenden Nahtbereich. Es hat sich deshalb als vorteilhaft erwiesen, die zu schweißenden Werkstücke entweder durch eine Übermaßpassung der Qualität H7/r6 oder H7/n6 zusammenzufügen oder bei Spielpassung mit Mehrstrahltechnik an z. B. drei um 120° versetzten Positionen zu heften.

Bei Übermaßpassungen sollte eine Anfasung nur an der Wurzelseite angebracht werden, Bild 2.

Die Verwendung eines Gleitmittels ist unzulässig.

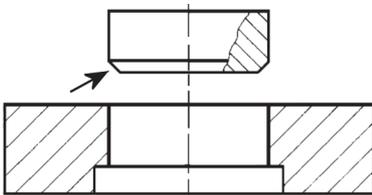


Bild 2. Unten angefasete Stirnfläche bei Drehteilen mit Übermaßpassung.

3.3 Hohlkörperentlüftung

Hohlkörper, die beim Evakuieren nicht entlüftet werden, führen beim Elektronenstrahlschweißen als Folge des höheren Drucks der eingeschlossenen Luft gegenüber dem Arbeitsdruck in der Regel zum Herausschleudern von schmelzflüssigem Werkstoff. Als Gegenmaßnahmen sind zum Beispiel bearbeitungsbedingte Hohlräume durch konstruktive Maßnahmen zu verkleinern, Bild 3. In anderen Fällen können Entlüftungsbohrungen außerhalb des Schweißnahtbereichs angeordnet werden, Bild 4.

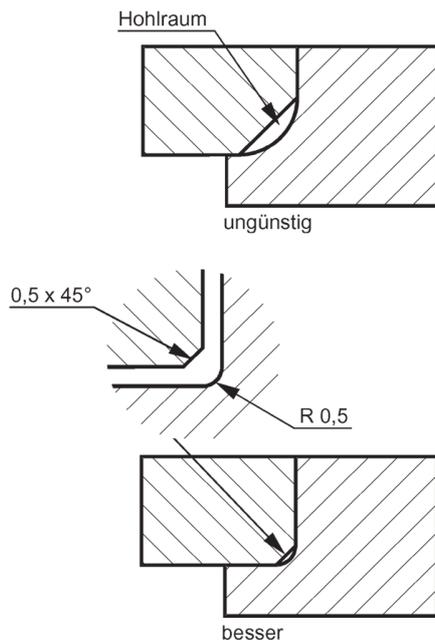


Bild 3. Bearbeitungsbedingte Hohlräume.

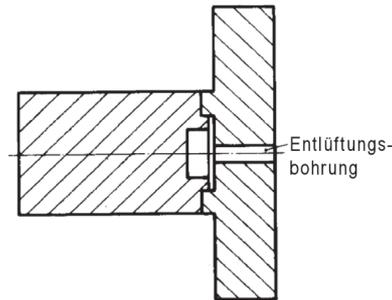


Bild 4. Bauteil mit Bohrung zum Entlüften des Hohlraums.

Müssen Entlüftungsöffnungen jedoch in der Schweißfuge angebracht werden, sind sie an das Nahtende zu legen, und ihr Querschnitt muss so bemessen sein, dass sie durch die Schweißnaht vollständig geschlossen werden können, Bild 5. Grundsatz: besser mehrere kleine Kerben.

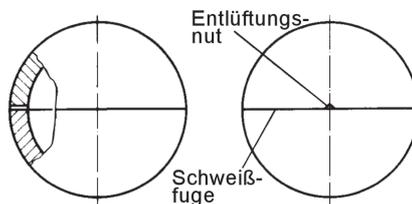


Bild 5. Geschlossener Hohlkörper mit Entlüftungsnut.

3.4 Störende Strahlablenkung

Der Elektronenstrahl wird durch elektrische und magnetische Felder beeinflusst. Spannvorrichtungen und sonstige Hilfseinrichtungen in Schweißstellennähe müssen elektrisch leitend und geerdet sein. Sie sind aus nichtmagnetisierbaren Metallen (nicht eloxiertes Aluminium, austenitischer Stahl, Bronze usw.) herzustellen oder zu entmagnetisieren. Das gilt in besonderem Maße auch für Werkstücke, die beim Bearbeiten magnetisch gespannt wurden.

Weiterhin dürfen in Schweißstellennähe wegen statischer Aufladungen keine nichtmetallischen Werkstoffe verwendet werden, oder sie sind mit einer geerdeten Metallfolie (Aluminiumfolie) abzudecken.

Elektrische Aggregate wie Heiz- oder Antriebsvorrichtungen in Schweißnahtnähe können elektromagnetische Felder induzieren. Diese sind während des Schweißbetriebs abzuschalten oder mit einer geeigneten Magnetfeldabschirmung zu versehen.

4 Nahtarten

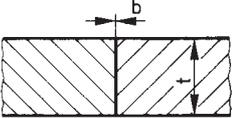
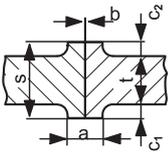
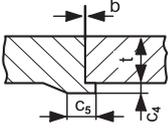
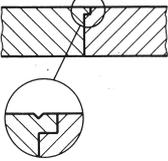
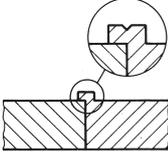
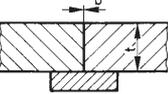
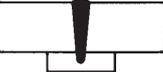
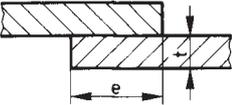
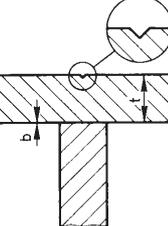
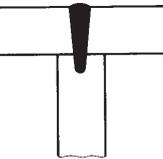
4.1 Allgemeines

Jede Nahtart ist durch eine Reihe von Besonderheiten gekennzeichnet. Der Konstrukteur hat daher im Rahmen der Aufgabenstellung und unter Berücksichtigung von Festigkeitsanforderungen, Bauteilfunktionen, Fertigungsmöglichkeiten, Prüfbarkeit und Kostenaufwand zu entscheiden, welche der folgenden Bewertungskriterien Vorrang haben, Tabelle 1.

4.2 Nachbearbeitung

Bei allen Nahtarten ist zu berücksichtigen, dass Randkerben, Nahtdurchhang, Wurzelbindefehler, Glättungsnaht (auch „Kosmetiknaht“ genannt) usw. die Nahtfestigkeit beeinflussen können. In Fällen hoher dynamischer Beanspruchungen ist es zweckmäßig, ein Dickenaufmaß vorzusehen, um äußere Abweichungen abarbeiten zu können. Dies gilt vor allem für die einfache I-Naht am Stumpfstoß, die wegen ihres geringen Bearbeitungsaufwands für das Elektronenstrahlschweißen am häufigsten gewählt wird, Nr. 2 in Tabelle 1. Gleichzeitig verbessert eine nachträgliche Bearbeitung die Möglichkeiten des zerstörungsfreien Prüfens.

Tabelle 1. Beispiele von Nahtarten.

Lfd. Nr.	Benennung	Stoß		Bemerkungen
		vorbereitet	geschweißt (schematisch)	
1	I-Naht			Vorteile: – geringer Bearbeitungsaufwand Nachteile: – kein Formschluss für das Positionieren der Stirnflächen – keine Möglichkeit für eventuelles Abarbeiten von äußeren Abweichungen (Randkerben, Nahtdurchhang usw.)
2	I-Naht mit Bearbeitungszugabe			Vorteile: – Zugabe für das Abarbeiten äußerer Abweichungen – Dickenaufmaß für Ausgleich eines möglichen dynamischen Festigkeitsabfalls im Nahtbereich – gute zerstörungsfreie Prüfbarkeit Nachteile: – hoher Bearbeitungsaufwand – kein Formschluss für das Positionieren der Stirnflächen
3.1	I-Naht mit Zentrierung			Vorteile: – Formschluss der Stirnflächen zum Positionieren, insbesondere bei Drehteilen (3.1; 3.2; 3.3) – Schutz gegen austretende Spritzer (3.1) – Badstütze (3.1) – Zentrierlippe als Schweißzusatz (3.3) Nachteile: – bei Zentrierlippe unten: unverschweißter Spalt, kerbwirkend, korrosionsfördernd (3.1) – hoher Bearbeitungsaufwand (3.1; 3.3) Bemerkung: Markierung zum manuellen Positionieren des Elektronenstrahls empfohlen bzw. Referenzkante für eine automatische Positionierung mit Hilfe z. B. reflektierter Elektronen vorsehen (3.2; 3.3)
3.2	I-Naht mit Zentrierung			
3.3	I-Naht mit Zentrierung			
4	I-Naht mit Unterlage			Vorteile: – geringer Aufwand zum Ermitteln der Schweißstellwerte – wirksamste Maßnahme gegen Nahtunterwölbung – bessere dynamische Festigkeit als Zentrierlippe Nachteile: – Bearbeitungsaufwand für das Positionieren, Andrücken und Entfernen der Unterlage (aus artgleichem Werkstoff) – bei Nichtentfernen Riss- und Korrosionsneigung an der Nahtunterseite
5	I-Naht am Überlappstoß	$e \geq 2t$ 		Vorteile: – geringer Bearbeitungsaufwand Nachteile: – geringe Festigkeit, eventuell Nahtbreite durch Querpandeln vergrößern
6	Stichnaht am T-Stoß			Vorteile: – geringer Bearbeitungsaufwand – gute Zugänglichkeit Nachteile: – schwierige Strahlpositionierung, Markierung erforderlich – unverschweißter Spalt kerbwirkend – Wurzelporen – nur für geringe Festigkeitsbeanspruchungen