

Der Elektronenstrahl, ein faszinierendes Instrument für neue Perspektiven in der Schweißtechnik

Die Grundlage dieser Technologie wurde bereits vor über 60 Jahren gelegt und war auch eines der ersten Fertigungsverfahren, welches während des Flugs von Sojus 6 im Weltraum von Astronauten experimentell getestet wurde.

Dieses bewährte Schweißverfahren hat heute, nach einer Vielzahl von praxisorientierten Innovationen, seinen festen Platz in der Industrie und allen metallverarbeitenden Unternehmen. Auch die schweißstechnischen Qualitätsforderungen und deren anschaulicher Beweis haben im Laufe der Jahre einige Anforderungen hervorgebracht, die sich der einmaligen Fähigkeiten des Elektronenstrahls bedienen.

Peter Schmidt, SwissBeam AG, 8964 Rudolfstetten

Verfahren

Das Elektronenstrahlschweißen (Electron Beam oder kurz EB Schweißen) ist ein Schmelzschweißverfahren bei dem Elektronen durch thermische Emission in der Kathode freigesetzt werden. Die nötige Emissionsenergie wird durch Erwärmung der Kathode auf ca. 3000 C° erreicht.

Die freigesetzte Elektronenwolke wird durch eine zwischen Kathode und Anode anliegende Hochspannung und durch die spezielle Anordnung der Elektrode richtungsorientiert beschleunigt. Im elektrischen Feld zwischen der Kathode (-) und der Anode (+) werden die Elektronen unter Hochvakuum auf nahezu 2/3 der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Durch elektromagnetische Linsen werden die Elektronen gebündelt und in einem Brennfleck von 0,1 bis 1,2 mm auf dem Werkstück fokussiert. Dabei wird die kinetische Energie des Elektronenstrahls zur Wärmeenergie am Werkstück genutzt.

In der vakuumierten Arbeitskammer wird das Werkstück unter dem energiekonzentrierten Strahl entlang der Schweißlinie bewegt und schmilzt es an der Auftreffstelle sofort auf. Die Leistungsdichte für das Schweißen liegt bei 1 bis 10 Millionen Watt pro Quadratzentimeter. Diese hohe Energiekonzentration bewirkt den charakteristischen Tiefenschweisseffekt.

Tiefenschweisseffekt

Die Elektronen schmelzen die Oberfläche auf und dabei beginnt ein Teil des geschmolzenen Metalls schlagartig zu verdampfen. Der Dampfdruck verdrängt die Schmelze und es bildet sich in der Mitte der Schmelze ein Dampfkanal der den sogenannten Tiefenschweisseffekt hervorruft. Oberflächenspannung, Dampfdruck und das Gewicht der Schmelze sind im Gleichgewicht. Durch den Dampfkanal können nahezu vollständig die Elektronen in das Werkstück eingebracht werden. Extrem schmale Nähte mit einem Tiefen-Breiten-Verhältnis von 25:1 können so erzeugt werden. Typische Prozessabfolgen sind im nachfolgenden Bild dargestellt. Das Schmelzen & Verdampfen des Werkstoffes läuft im Millisekundenbereich ab und es wird dabei kein Zusatzwerkstoff verarbeitet, so dass die Teile in der Regel im I-Stoß ohne Luftspalt aneinander liegen und durch den Strahl miteinander verschmolzen werden.

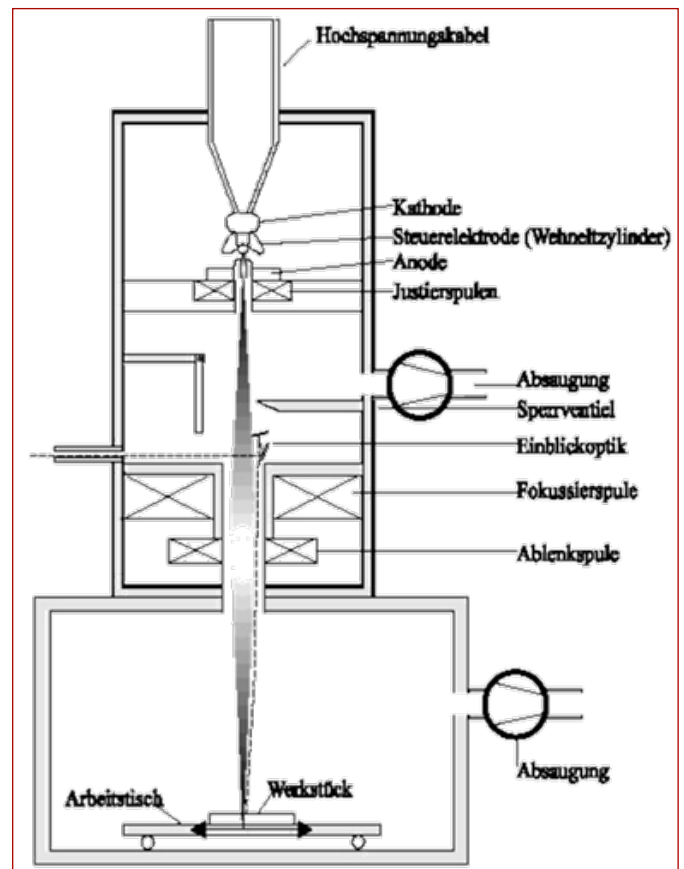


Abb. 1: Schematische Darstellung der Elektronenstrahlkanone mit Arbeitskammer

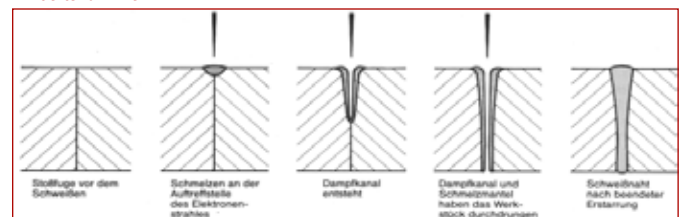


Abb. 2: Prozessabfolge der Tiefenschweißung

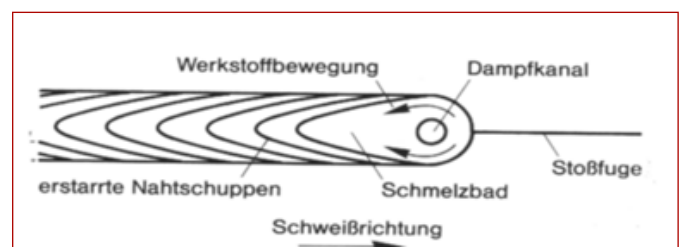


Abb. 3: Schmelze mit mittigem Dampfkanal

Vorteile der Elektronenstrahltechnologie

Tiefe und schmale Nähte

Würde man elektronenstrahlgeschweißte Verbindungen mit dem konventionellen Lichtbogen- oder Schutzgassschweißen herstellen, so müssten je nach Schweißtiefe viele einzelne

Lagen mit Zusatzdraht geschweisst werden. Beim Elektronenstrahlschweissen werden die Teile in einem Arbeitsgang mit hoher Geschwindigkeit verschweisst. Bei einer 25 Millimeter tiefen Naht beträgt die Nahtbreite der Elektronenstrahlschweissung nur einen Millimeter.

In einem Arbeitsgang können

- 0,05 bis 30 mm tiefe Nähte in Kupfer
- 0,01 bis 100 mm tiefe Naht in Stahl
- bis zu 280 mm tiefe Naht in Aluminium

erzielt werden

Verzugs- und Spannungsarm

Das Elektronenstrahlschweiss-Verfahren bietet sich vor allem wegen der geringen Wärmeeinbringung an, wodurch Schrumpfung und Verzug kaum auftreten.

- Weniger Eigenspannungen und Schrumpfungen
- Minimalste Verformung der Schweissbaugruppe
- Fertig bearbeitete Teile können verbunden werden.
- Massgenau mit der notwendigen Qualität

Geringer Wärmeeintrag

Aus der extrem schmalen Schweissnaht resultiert ein sehr geringer Wärmeeintrag in die zu verschweisende Baugruppe und somit die Möglichkeit auch wärmeempfindliche Teile neben einer Schweissnaht zu platzieren.

- Wärmeempfindliche Bauteile können unmittelbar neben der EB-Naht positioniert sein
- Beste Plan- und Rundlaufeigenschaften
- Am Ende der Fertigungskette können fertig bearbeitete Teile geschweisst werden
- Exzellente Wirtschaftlichkeit

Neue Gestaltungsmöglichkeiten

Das Elektronenstrahlschweissen bietet dem Konstrukteur in vielerlei Hinsicht völlig neue Perspektiven. Dadurch können Konstruktionen realisiert werden bei denen es bisher als unmöglich galt zu schweissen.

- Schweißen durch einen Hohlraum (siehe Bild)
- Verschweißen aller, auch höchstschmelzender Metalle wie z. B. Wolfram, Titan Niob
- Verbindungen dickwandiger mit dünnwandigen Bauteilen
- Mehrlagenschweissungen

Werkstoffpaarungen

Möchte man den Funktionsgrad eines Produkts erhöhen und gleichzeitig kostengünstig herstellen, kommt man an Werkstoffkombinationen nicht vorbei.

- Fügen unterschiedlicher Werkstoffe, z.B. Bronze mit Stahl
- Fügen verschiedener Stahlegierungen, z. B. Vergütungsstähle
- Eine Vielzahl an Werkstoffkombinationen möglich
- Potential für neue Materialtechnologien

Besonders auffallende Anwendungen

Die Möglichkeit kritische, artverschiedene Werkstoffe zu verschweißen, eröffnet neue funktionelle und wirtschaftliche Ansätze bei der Konstruktion eines Bauteils:



Abb. 4: Kupferkabelanschlüsse sind in einem Arbeitsgang 25mm tief verschweisst worden



Abb. 5: Einzelne Zahnräder wurden axial im Nabenbereich verzugsarm gefügt und dabei ist eine Rundlauf-toleranz von 0.05mm eingehalten worden.

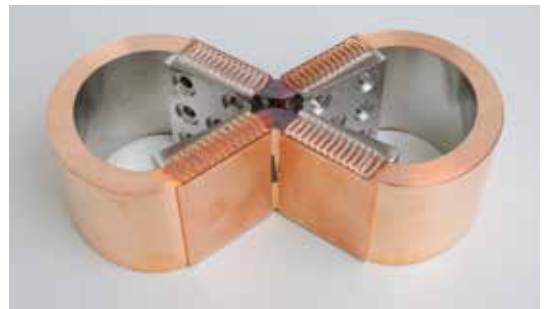


Abb. 6: Mehrere Einzelfolien, sind mit kompakten Anschluss-Stücken aus Edelstahl zu einem Stromband gefügt.



Abb. 7: Ein einfacher Stahlhalter wird am Aussenring eines Standard – Kugellagers, auf der Vorder- und Rückseite verschweisst. Vorteile: Wesentliche Kosten- und Gewichtseinsparungen und dabei werden die Laufeigenschaften des Kugellagers gewährleistet

- Komplexe Werkstückgeometrie mit unterschiedlichen Wandstärken sind schweisssbar
- Stähle mit hohem C-Gehalt können verschweisst werden
- Vergrößerung der Verfahrensmöglichkeiten bei rissgefährdeten Werkstoffen
- Kombination mehrerer technologischer Prozesse wie z.B. Vor- und Nachwärmen in einem Arbeitsgang durch Mehrstrahltechnik

Höchste Prozesssicherheit

Fertigt man jährlich mehrere Teile z.B. für den Fahrzeugbau, muss jedes einzelne davon genau den Vorgaben entsprechen und mit gleichbleibender Genauigkeiten hergestellt werden.

- Bestmögliche CNC Steuerung
- Perfekte Prozesssicherheit
- Schweißen im Vakuum führt zu oxidationsfreien Verbindungen
- Verbesserte Qualität und dadurch geringe bis keine Nachkontrollen

Hoher Wirkungsgrad

Das Elektronenstrahlschweissen hat eine etwa gleich grosse Leistungsflussdichte wie das Laserstrahlschweissen bei deutlich höherem Wirkungsgrad.

- Hoher energetischer Gesamtwirkungsgrad
- Geringer Energieaufwand
- Auswirkung direkt auf die Betriebskosten
- Wirkungsgrad Laser: < 5%, Elektronenstrahl: ca. 70 %

Das Elektronenstrahlschweissen ist ein Präzisions-Schweißverfahren um zwei Metalle prozesssicher zu verbinden. Es wird in verschiedensten Zweigen der MEM-Branche angewendet, darunter dem Anlagenbau, die Automobilindustrie, die Maschinenindustrie, der Sensor- und Vakuumtechnik, dem Energiesektor sowie der Luft- und Raumfahrt. Besondere Anwendungsgebiete sind die Medizintechnik. Es kommt oft dort zum Einsatz, wo andere Verfahren an ihre Grenzen stossen.



Abb. 9: Eine von zwei Elektronenstrahlschweissanlagen bei SwissBeam

Fakten zu SwissBeam AG

SwissBeam plant und produziert nach Kundenvorgaben massgeschneiderte Systemlösungen im Bereich des Schweißens, insbesondere des Elektronenstrahlschweißens und dabei wurden folgende Werkstoffe verarbeitet:

- Unlegiert mit niedrig legierter Stahl
- Un- oder niedrig legiert Stahl mit austenitischem CrNi-Stahl
- Austenitischer CrNi-Stahl mit ferritischem Cr-Stahl
- Aluminium
- Kupfer, Bronze, Beryllium
- Stahl mit Nichteisenmetallen (z.B. Kupfer mit Stahl)
- Edelmetalle wie Gold, Silber, Platin
- Verschiedene Nichteisenmetalle (z.B. Molybdän mit Titan oder Tantal mit Niob)