

EBOGEN



Elektronenstrahltechnik

Werkzeuge zur präzisen Materialbearbeitung



BEAM TECHNOLOGY WORLDWIDE

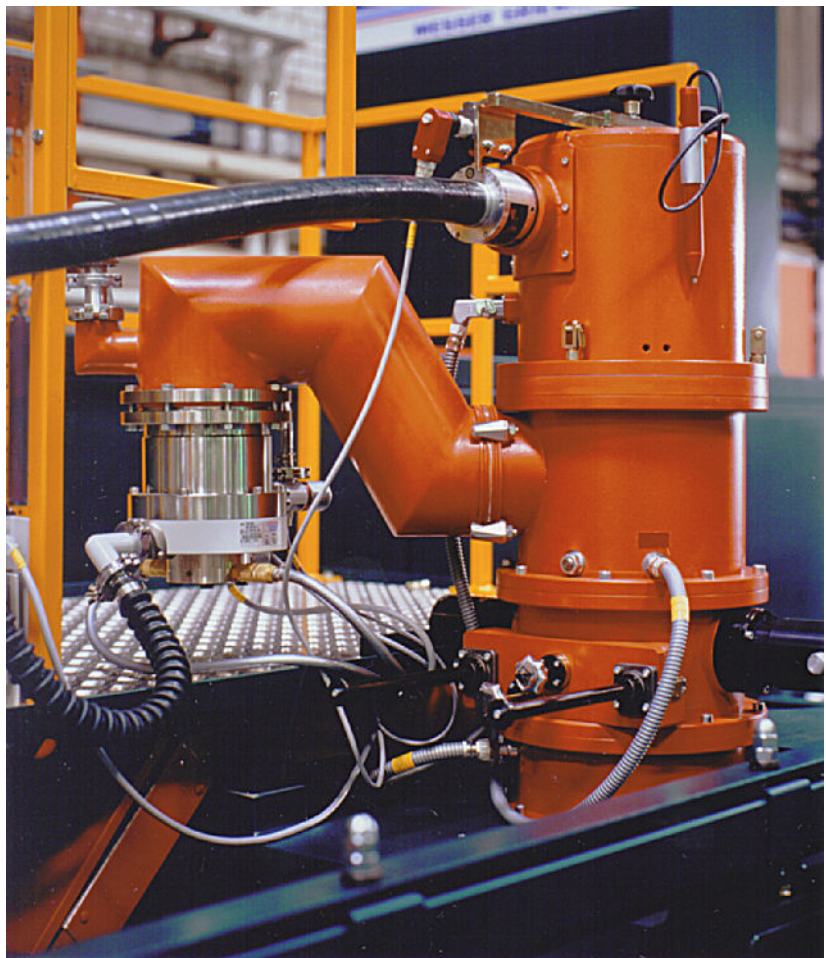
Qualität mit dem Elektronenstrahl

EB-Generatoren von Steigerwald Strahltechnik Tradition und Innovation

Seit etwa 40 Jahren gilt Steigerwald Strahltechnik weltweit als der Spezialist in der Fertigung und Anwendung von Elektronenstrahl-Anlagen (EB-Anlagen) für die Materialbearbeitung. Die sogenannte "Steigerwald-Kanone" ist in der Fachwelt ein Wertbegriff mit Tradition.

Als Typenreihe mit einem Leistungsbereich von 3 bis 60 kW bieten die EB-Generatoren von Steigerwald Strahltechnik folgende Vorteile:

- schneller Kathodenwechsel in max. 10 Minuten ohne Nachjustieren
- Flecklagekonstanz besser als $\pm 0,1$ mm auch nach Kathodenwechsel
- eigenes Hochvakuumsystem (besser als 10^{-4} mbar) für den Raum des Strahlerzeugungssystems
- Druckdrossel zwischen Strahlerzeugungssystem und Arbeitskammer
- Strahlrohrventil zum Abschließen des Raumes der Strahlerzeugung gegen die Arbeitskammer beim Belüften der Kammer
- hochauflösender Fernrohreinblick, Blickachse nahezu parallel zur Strahlachse
- Hochspannungsstecker ohne Öl-Isolation
- präzise Regelung von Hochspannung, Strahlstrom und Linsenstrom (Fokuslage) durch moderne Halbleitertechnik
- Strahlableitung in zwei Achsen nach vielen Standardfunktionen
- CNC-Ansteuerbarkeit z. B. von Hochspannung, Strahlstrom, Linsenstrom und allen Parametern der Strahlableitung
- Strahlmodulation und Pulsen (Option)
- einfache Wartung.

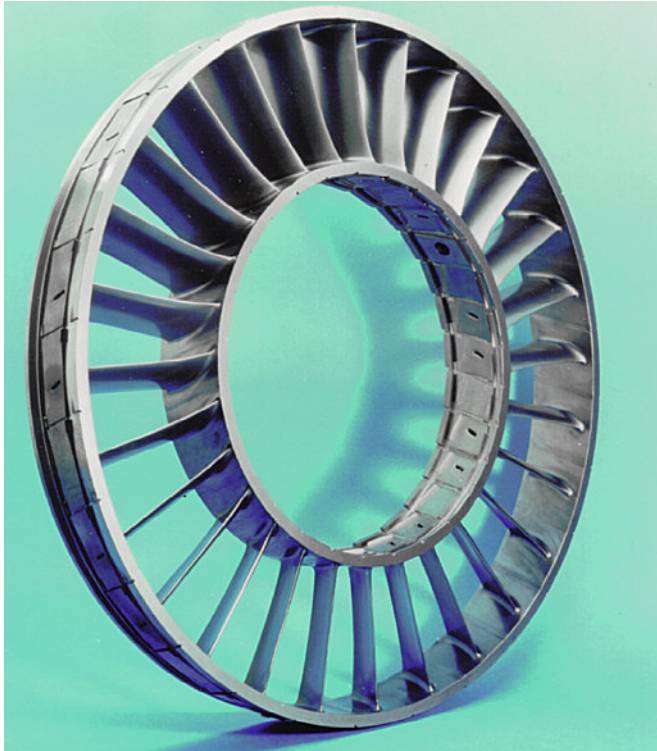


EB-Hochspannungsgenerator (P47.10.16i/16)

Steigerwald Strahltechnik Leistung durch Erfahrung und Erfolg

Der Elektronenstrahl ist ein fortschrittliches Werkzeug. Natürlich entscheiden wirtschaftliche Analysen bei komplexen Materialbearbeitungen über den Einsatz der Elektronenstrahl-Technik. Sie ermöglicht aufgrund ihrer Vorteile besondere technische Lösungen in bezug auf Materialkombinationen und die konstruktive Gestaltung, aber auch auf die Arbeitsfolge für Bearbeitungsvorgänge oder die Montagefolge.

Zum Schweißen, Oberflächenbehandeln (Härten, Umschmelzen, Aufschmelzlegieren) und Bohren bietet Steigerwald Strahltechnik für die industrielle Anwendung Strahlleistungen von 3 bis 60 kW an.



Niederspannungsgeneratoren bis 70 kV

Beschleunigungsspannungen von 70 kV kennzeichnen die sogenannten Niederspannungsgeneratoren.

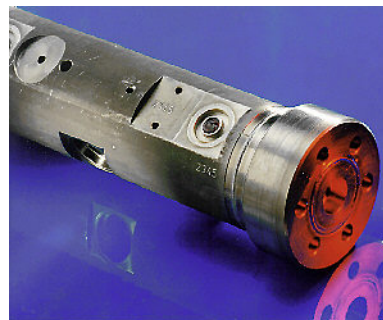
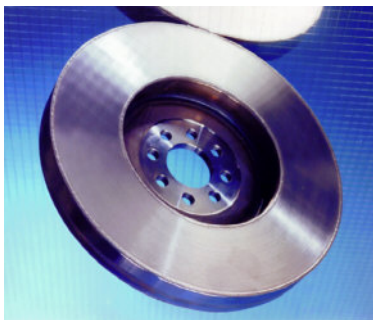
Verfahrenstechnische Faktoren bei bestimmten Schweißanwendungen und wirtschaftliche Vorteile, z. B. preiswerte Hochspannungsversorgungen und Schutz vor Röntgenstrahlen ohne Verwendung von Bleischirmungen, bestimmen den Einsatz von Niederspannungsgeneratoren.

Mit ihnen werden maximal nutzbare Arbeitsabstände bis zu 800 mm je nach Generatortyp erreicht.

Hochspannungsgeneratoren bis 150 kV

Generatoren, die mit Beschleunigungsspannungen bis 150 kV arbeiten, werden als Hochspannungsgeneratoren bezeichnet. Sie haben technische und wirtschaftliche Vorteile für den Anwender:

- größere Leistungsdichte im Fokus, d. h. geringerer Strahldurchmesser. Dadurch entstehen schmalere Schweißnähte und eine größere Eindringtiefe
- größerer Arbeitsabstand bis 1500 mm. Die Leistungsdichte ist aufgrund der höheren Elektronengeschwindigkeit auch bei größeren Arbeitsabständen größer als bei Niederspannungsgeneratoren, da der Fokusbereich kleiner ist
- Ablenkung durch Magnetismus geringer. Resistente Magnetfelder und Restmagnetismus in Werkstücken oder in Spannvorrichtungen lenken den Elektronenstrahl von seiner Soll-Linie ab. Die Ablenkung des Strahls durch magnetische Störfelder ist bei 150 kV Beschleunigungsspannung nur etwa halb so groß wie bei 70 kV.



Schweißbeispiele (47.10.07b) (47.43.16a/12) (47.10.4b/12)

Bedingungen zur Beurteilung der EB-Qualität

Strahlqualität:

Für die Strahlqualität sind die symmetrische Leistungsdichteverteilung mit hoher Leistungsspitze in der Strahlmitte, die eng tolerierte Stabilität der elektrischen Versorgung und der bewährte mechanische Aufbau verantwortlich.

Flecklagekonstanz:

Die Lage des fokussierten Strahles, relativ zu Maschinenkoordinaten, muss unabhängig von den Betriebsbedingungen sein.

Wirtschaftlicher Background:

Die EB-Technik und die robuste, aber präzise Mechanik soll durch große Zuverlässigkeit und einfache Bedienung kalkulierbar niedrige Betriebskosten bei optimalen Verfahrensbedingungen garantieren.

Elektronenstrahl-Erzeugung - der High-tech-Kern im EB-Generator

Das Prinzip,

Elektronen zu bündeln und zu lenken

Der EB-Generator erzeugt und steuert den Strahl im Triodensystem (siehe Bild). Die Elektronen treten aus der Kathode, einem vorgeformten, auf etwa 2500 °C geheizten Wolframband, aus. Die direkte Beheizung des Wolframbandes gewährleistet Störsicherheit im Betrieb.

Spannungen bis 150 kV zwischen Kathode und Anode beschleunigen die Elektronen in Richtung Werkstück. Sie bewegen sich mit bis zu 2/3 der Lichtgeschwindigkeit durch eine Bohrung in der Anode. Mit der dieser Geschwindigkeit entsprechenden Energie "bombardieren" sie das Werkstück.

Zwischen Anode und Kathode ist der Wehneltzylinder als Steuerelektrode angeordnet. Er steuert mit einer Differenzspannung bis etwa 2000 V gegenüber dem Potential der Kathode den Strahlstrom vom Maximalwert bis auf Null.

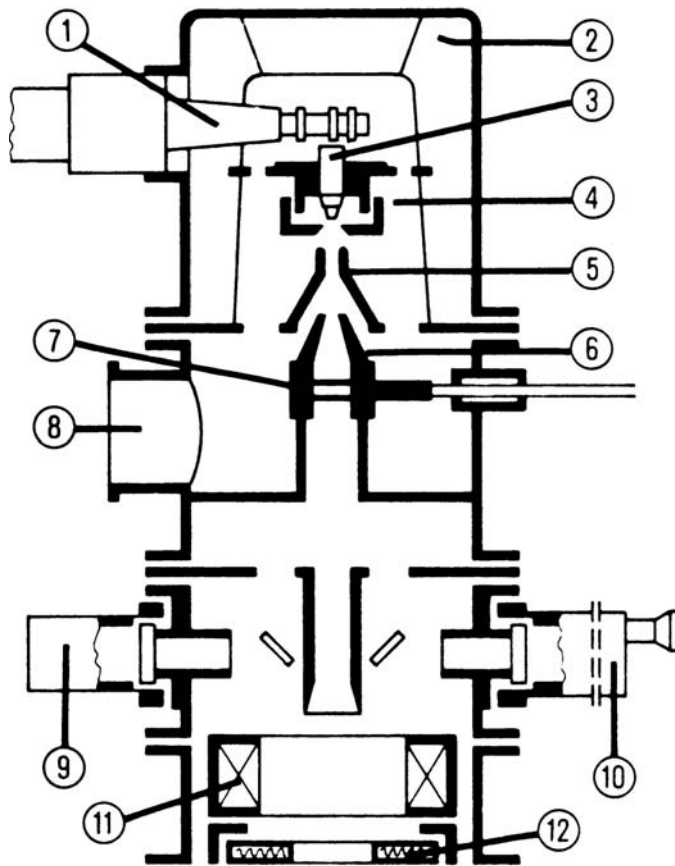
Dabei wird die angelegte Beschleunigungsspannung nicht verändert.

Eine elektromagnetische Linse bündelt, d.h. fokussiert den divergierenden Elektronenstrahl. Verändert man den Linsenstrom, kann der Abstand des Fokuspunktes von der Linse in weiten Grenzen verändert werden. In der Praxis wird mit dem Linsenstrom der Arbeitsabstand vom Generator zum Werkstück bestimmt.

Mit einem elektromagnetischen Ablenkensystem mit 2 voneinander unabhängigen Spuleneinheiten lässt sich der Elektronenstrahl in der x/y-Ebene in beliebige Richtungen ablenken.

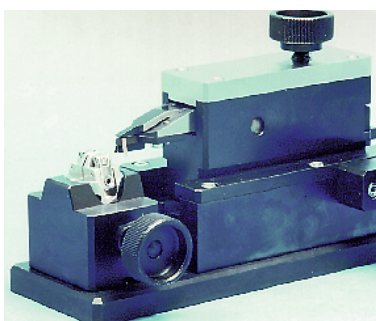
Der Aufbau des EB-Generators und seine Technik

EB-Generatoren von Steigerwald Strahltechnik bauen sich aus modularen Einheiten auf. Die einzelnen Funktionsgruppen sind jeweils in zylindrischen, verbleiten Gehäusen montiert und durch Flansche vakuumdicht miteinander verbunden.



Schematische Darstellung eines EB-Generators

- | | | |
|--|------------------|----------------------------|
| AE ① Hochspannungs-Steckverbindung | ⑤ Vakuum-Drossel | ⑪ Strahlrohrventil |
| ② Hochspannungsisolator | ⑥ Vakuum-Stützen | ⑫ Beleuchtung |
| ③ Kathodenband-Schwellenwechselfatrone | ⑩ Fernrohr | ⑬ elektromagnetische Linse |
| ④ Wehnelt-Elektrode | ⑦ Anode | ⑫ Ablenkensystem |



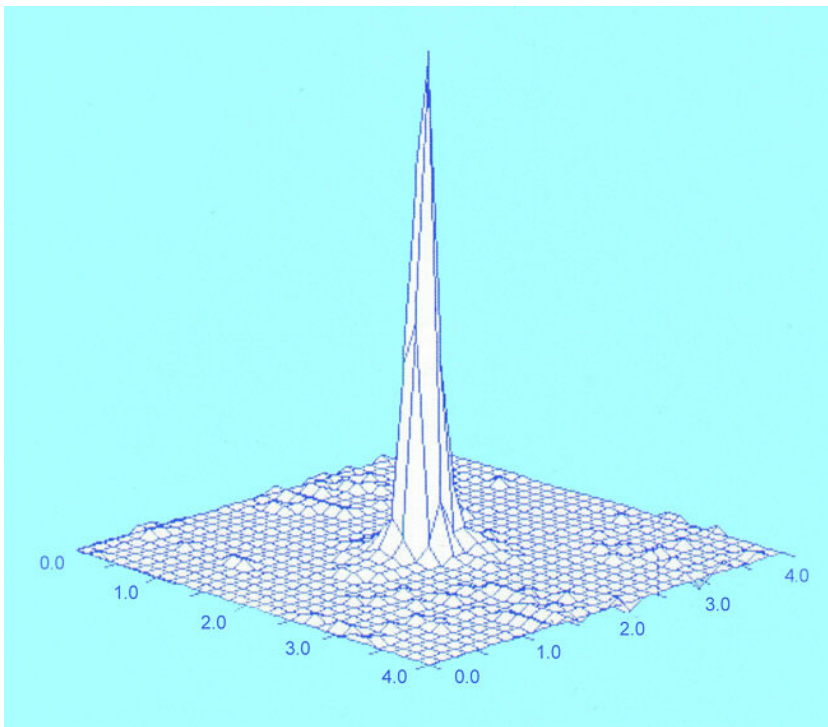
Ladevorrichtung für Heizband (47.10.07g)



Montagewerkzeuge für Heizbandträger (47.10.07f)

Das modulare System erlaubt Standardbaugruppen gegen Baugruppen mit besonderen Eigenschaften auszutauschen z. B. bei Generatoren für besonders feine Schweißungen an Sägebandmaterial.

Strahlerzeugungssystem:
Das Strahlerzeugungssystem selbst, ein Triodensystem, befindet sich im obersten Teil der Generatorsäule. Der metallische Träger für Kathodensystem und Wehneltzylinder ist in ein Isolatorgehäuse aus hochspannungsfestem und temperaturstabilem Material fest eingegossen.



Beschleunigungsspannung $U_B = 150 \text{ kV}$
 Strahlauftreffstrom $I_A = 100 \text{ mA}$
 Linsenstrom $I_L = 2.260 \text{ mA}$
 Fokusbstand $A_F = 500 \text{ mm}$

Leistungsflussdichte
 $L = 2,20 \times 10^7 \text{ W/cm}^2$
 Äquivalenter Strahldurchmesser bei 90%
 Strahlleistung $d_{90} = 0,43 \text{ mm}$

Energieverteilung im Strahl eines Steigerwald Strahltechnik EB-Generators



Binokularer Einblick gekoppelt mit Fernsehsystem (P47.10.18b/5)

Die Auswahl von Materialien der Strahlquellen-Komponenten mit optimierten Wärmeausdehnungskoeffizienten stellt die Konstanz der geometrischen Zuordnung insbesondere von Kathode und Wehneltzylinder sicher. Kathode, Wehneltzylinder und Anode sind durch hochgenaue Passungen in festen Positionen zueinander montiert.

Auch nach dem Kathodenwechsel oder der Säuberung der Einzelteile wird eine genaue Position der Teile zueinander ohne Justierarbeiten erreicht. Die vorgeformte Wolframkathode ist in dem Heizbandträger leicht auswechselbar montiert. Mit Hilfe einer Ladevorrichtung kann sie in wenigen Sekunden gewechselt werden.

Ebenso wird der Heizbandträger mit einem Spezialwerkzeug innerhalb 1 Minute gewechselt, ohne dass Justierarbeiten notwendig sind.

Vakuumeinheit:

Unter dem Strahlerzeugungssystem schließt sich der vakuumtechnische Teil der Generatorsäule an. Zu dieser Vakuumeinheit gehören Druckdrossel, Strahlrohrventil, Anschlussflansch und Pumpeinheit.

Das Strahlrohrventil wird automatisch vor dem Belüften der Kammer geschlossen bzw. beim Erreichen des Sollvakuum in der Kammer geöffnet. Die Druckdrossel verhindert den vollen Druckausgleich zwischen dem Raum des Strahlerzeugungssystems und der Kammer. Das Hochvakuum wird dadurch im Raum des Strahlerzeugungssystems unabhängig vom Arbeitsdruck in der Kammer (bei Feinvakuum von ca. $5 \times 10^{-2} \text{ mbar}$) aufrechterhalten. Diese Konzeption garantiert die hervorragende Überschlagnfestigkeit der EB-Generatoren von Steigerwald Strahltechnik.

Einblicksystem:

Um das Werkstück beim Einrichten oder während des Schweißens unmittelbar am Schweißpunkt beobachten zu können, werden je nach Generatortyp verschiedene Einblicksysteme angeboten.

Ein Fernrohr mit binokularem Einblick ermöglicht eine Auflösung von 0,05 mm am Werkstück. Alternativ oder zusätzlich zum Fernrohr ist als Option ein Fernsehsystem montierbar. Der Bildschirm zeigt dann die Schweißstelle. Für EB-Maschinen mit Niederspannungsgeneratoren, die Massenprodukte schweißen, ist lediglich zum Einrichten ein optischer Einblick notwendig. Hierfür wird ein sog.

"Hilfseinblick" verwendet.

Schutzgläser decken das Prismensystem gegen Bedampfen und Spritzer vom Schweißprozess ab. Bedampfte Schutzgläser werden durch Fernbedienung gewechselt.

EB - ein flexibles Werkzeug für besondere Schweißaufgaben

Strahlfokussierung und -ablenkung:

Ein weiteres Segment im Gehäuseteil der Generatorsäule enthält die elektromagnetische Linse und das Ablenksystem. Ein sehr wichtiger Parameter für das Schweißergebnis ist der Linsenstrom der Fokussierlinse. Er bestimmt die Fokuslage und regelt diese mit einer Toleranz von nur $\pm 0,1\%$. Dadurch weicht die Fokuslage auch bei großen Arbeitsabständen unbedeutend vom Sollwert ab.

Die Magnetspulen im Ablenksystem werden vom Ablenkverstärker gespeist. Dieser wird von einem manuell oder durch CNC eingestellten Funktionsgenerator angesteuert. Die Ablenkung ist sehr genau einstell- und reproduzierbar. So können Konturen auch nur durch Strahlablenkung geschweißt werden. Koppelt man die Ablensignale mit den mechanischen Bewegungsachsen, können auch komplizierte Konturen an Werkstücken mit konstanter Geschwindigkeit geschweißt werden, denn an spitzen Ecken oder in engen Radien kompensiert der trägheitslose Strahl durch Strahlablenkung die Trägheit der mechanischen Werkstückbewegung. Für diese komfortable Bearbeitung bietet Steigerwald Strahltechnik eine patentierte CNC-Steuerung (Option) an.



Bedienstand einer Trimetall-Sägebandanlage (47.10.12g/6)

Elektrische Versorgung und Regelung:

Der Elektronenstrahl bietet durch seine elektrische Steuerbarkeit ideale Voraussetzungen zur Anpassung an aufwendige Arbeitsaufgaben.

In weiten Bereichen einstellbar und elektronisch mit hoher Genauigkeit geregelt sind:

- Beschleunigungsspannung
- Strahlstrom
- Slope-in und Slope-out (Rampen)
- Linsenstrom und damit Fokuslage bzw. Arbeitsabstand
- Strahlablenkung in x- und y-Richtung

Die Beschleunigungsspannung, der Heizstrom für die Kathode und die Wehneltspannung werden von der in moderner IGBT-Technologie (Insulated Gate Bipolar Transistor) aufgebauten Mittelfrequenz-Hochspannungs-Versorgung erzeugt und über ein dreipoliges Hochspannungskabel mit ölfreier Steckverbindung zur Generatorsäule geleitet.

Die Mittelfrequenztechnik (20 kHz) zeichnet sich durch eine schnelle Hochspannungs- und Strahlstromregelung ($< 200 \mu\text{s}$) sowie durch gering gespeicherte Energie und einen hohen Wirkungsgrad aus.

Die hoch stabilen Gleichspannungsnetzmodule sind leicht austauschbar und erlauben einen Notbetrieb mit verringerter Leistung.

Beginn und Ende einer Schweißung sind oftmals kritisch und erfordern eine besondere Steuerung des Strahlstromes, das Slopen. Slope-in und Slope-out sind durch die gute Steuerbarkeit des Elektronenstrahls auch bei schweißtechnisch schwierigen Werkstücken und Werkstoffen variantenreich anzupassen.

Zum Grundlieferumfang von EB-Generatoren gehören zeitgesteuerte Stellglieder, die den Strahlstrom bei Schweißbeginn linear von Null auf den eingestellten Sollwert (Slope-in) und bei Schweißende zurück auf Null (Slope-out) führen. Ein- und Auslaufzeiten sind unabhängig voneinander einzustellen.

Die verfügbare Strahlleistung ist ein Produkt aus Strahlstrom und Beschleunigungsspannung. Sie ist gleichzeitig ein wichtiges Kriterium zur Generatorauswahl in Relation zur Schweißaufgabe. Denn die Strahlleistung bestimmt die Schweißgeschwindigkeit und die Eindringtiefe des Strahls in das Werkstück.

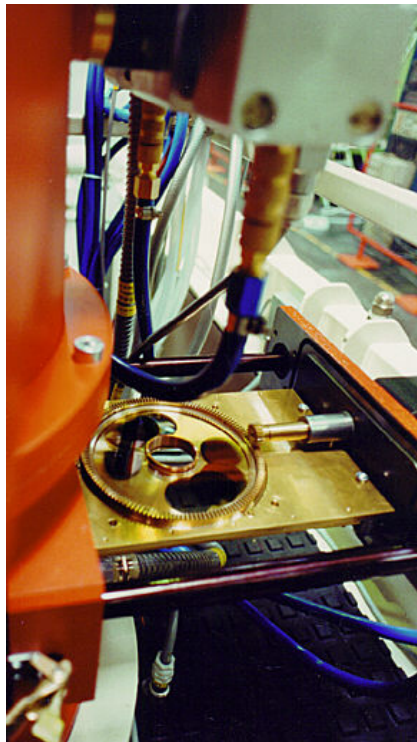
Bei Durchschweißung mit vertikalem Strahl ist die Materialdicke abhängig vom Werkstoff begrenzt. Sonst würde die Schmelze aus der Schweißnaht herausfließen.

Das gleiche gilt für die Schweißgeschwindigkeit, da die flüssige Schmelze hinter der vom Elektronenstrahl erzeugten Dampfkapillare zusammenfließen und erstarren muss.

Zusatzausrüstungen für Elektronenstrahlgeneratoren

Funktionsgenerator:

Metallurgische Gegebenheiten oder Werkstücktoleranzen können breitere Schweißnähte oder besondere Schweißnahtprofile erfordern. Mit einem "gewedelten" d. h. dynamisch abgelenkten Strahl werden die Nahtformen von Schweißverbindungen variiert. Die entsprechende Kurvenform, Amplitude und Frequenz der Wedelung lassen sich am Funktionsgenerator einstellen oder per CNC vorgeben. Als Standard-Kurvenform stehen Sinus-, Rechteck-, Dreieck-, Kreis- und Ellipsenfunktionen zur Verfügung. Die Amplituden der AC-Ablenkung reichen bis $\pm 2^\circ$ bei 1 kHz.



Schutzglas-Wechseleinrichtung (47.10.131/19)

Der Frequenzbereich für die Wedelung ist bis 10 kHz nutzbar.

Im speziellen Anwendungsfall kann die Wedelung durch sogenannte Vektorisierung in eine jeweils rechtwinklige Lage zur Schweißkontur mitgeführt werden.

Heizstromregelung:

Der optimale Heizstrom der Kathode hängt sowohl von der Höhe des Strahlstroms als auch vom Betriebsalter der Kathode ab. Nach jedem Kathodenwechsel und während der gesamten Kathodenlebensdauer wird mit dem Heizstromregler der Heizstrom und somit auch die Heizleistung den Betriebsbedingungen automatisch angepasst.

Die Heizstromregelung ermittelt den richtigen Ausheizzustand. So ist eine Überheizung ausgeschlossen, welche die Lebensdauer der Kathode wesentlich mindern würde. Ebenso wird eine Unterheizung vermieden, welche die Elektronenemission reduzieren würde und dadurch die Schweißqualität mindern könnte.

Pulsgenerator:

Beim Elektronenstrahlschweißen kann ein gepulster Strahl das Schweißergebnis erheblich verbessern, z. B. bei sehr schmalen Tiefschweißungen, für besondere Schweißnahtgeometrien, oder wenn eine Begrenzung der einzubringenden Wärmemenge erforderlich ist.

Der Pulsgenerator als Zusatzgerät ist in die EB-Anlage direkt integrierbar. Die Pulsform und Pulsfrequenz sind unabhängig voneinander einstellbar. Prinzipiell unterscheidet man die Betriebsarten Pulsen und Modulieren.

Beim Pulsen sind Frequenzen bis 1000 Hz und Pulszeiten von 400 μ s bis DC zu erreichen. Beim Modulieren stehen die Modulationsformen Dreieck, Rechteck und Sägezahn bei Frequenzen bis zu 1000 Hz zur Verfügung. Die Modulationsamplitude reicht von 0 bis 100 % des Strahlstrommittelwertes.

FEHLERMELDUNG						W
F 13 Störung Resistor Rohoe X						
Auslaufprogramm beendet						
AUSGANGSMENÜ NC:						
GRUNDMENÜ	OPTIONEN	ECOPAC	MANUELL	AUTOMATIK		
1	2	3	4	5		
Parameter						W
U _B	120.0 kV	DC X	0.00 mm	AC X	4.00 mm	
I _S	15.0 mA	DC V	0.00 mm	AC V	2.00 mm	
I _L	1143 mA	SH	454	Funktion Ellipse		
U	19.9 mm/s	Slope in 0.5 s		Slope out 0.5 s		
I _H	54.6 % MN					
X	- 158.770 mm	R				
Y	0.000 mm	R				
A	0.000 grd	A				
Durchmesser	25.0 mm	f	100 x	Heften	Puls	32 mm
				Pausen	44	mm
Auslaufprogramm beendet						
MANUELL : MANELE ACHSE						
HOME	INDEX	START-STOP	PARAMETER	JOYSTICK		
1	2	3	4	5		

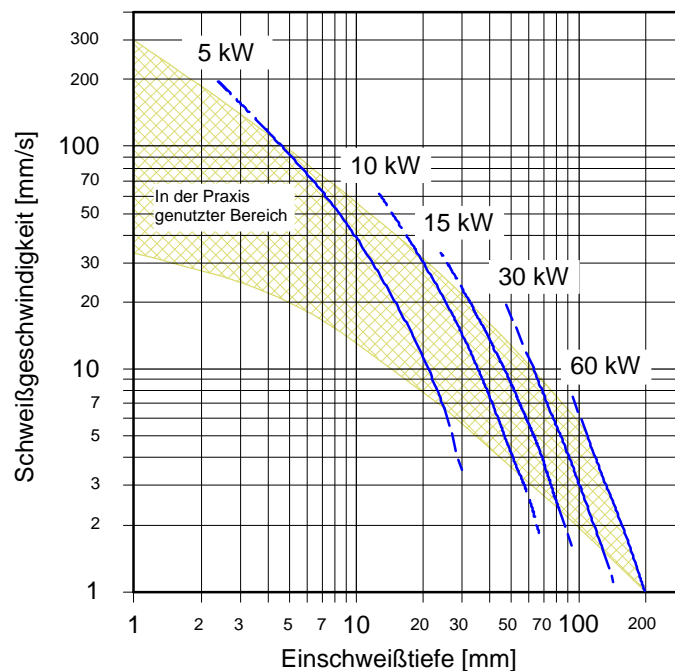
Bildschirmanzeigen an der VDU

Eine Vielzahl von Zusatzeinrichtungen steht abhängig vom Einsatz der EB-Generatoren zur Verfügung z. B. Fernsicht, Einrichtungen für horizontalen Generatoreinsatz, Wobbelsystem und CNC mit allen Zusätzen zur Qualitätsüberwachung.

Die technischen Daten

		Generatorbezeichnung							
		GN 50 TM/KM	GN 100 TM/KM	GN 150 TM/KM	G 50 BM	G 100 KM	G 150 KM	G 300 KM/KML	G 600 KM/KML
Beschleunigungsspannung	kV	70			70 bis 150				
max. Dauerstrahlleistung	kW	5	10	15	5	10	15	30	60
max. Strahlstrom	mA	72	143	215	30 ¹⁾	66 ¹⁾	100 ¹⁾	200 ¹⁾	400 ¹⁾
max. Arbeitsabstand ²⁾	mm	800	800	800	fix	1500	1500	1200	1200
Strahldurchmesser ³⁾	bei 200 mm Arbeitsabstand				0,1 ⁴⁾	0,2	0,25	0,4	0,6
	bei 500 mm Arbeitsabstand					0,3	0,4	0,6	0,9
max. Strahlablenkwinkel ⁵⁾	statisch	± 3			± 1,5	± 5			
	dynamisch	± 2			± 1,5	± 2			
Reproduzierbarkeit der Strahlposition nach Kathodenwechsel bei 200 mm Arbeitsabstand	mm	± 0,1			± 0,05				

- 1) für $U_B \geq 80$ kV
- 2) Gemessen von der Kammerdecke oder Wand bis Fokuspunkt. Die Werte gelten nur bei Standardmontage (Unterkante Kammerdecke bis Linsenmitte = 204 mm). Andere Kammerwandstärken und Generatorverschiebungen verändern den maximalen Arbeitsabstand. Größere Arbeitsabstände sind abhängig von der verlangten Nahtqualität möglich
- 3) bei maximalem Strahlstrom
- 4) bei 150 mm Arbeitsabstand
- 5) Der max. Ablenkwinkel kann durch mechanische und elektrische Komponenten beeinflusst werden



Anhaltswerte für das Elektronenstrahlschweißen mit 150 kV in Stählen. Aufgrund unterschiedlicher Werkstoffeigenschaften, Modulationen und Wedelungen des Strahls müssen exakte Aussagen stets experimentell bestimmt werden. Durchschweißungen benötigen zur Ausbildung der Unterraupen zusätzliche Leistung.

Know how und Service - Leistungen für den Kunden, engagiert und weltweit

Steigerwald Strahltechnik liefert nicht nur EB-Anlagen, sondern führt für Kunden speziell definierte Anwendungsuntersuchungen durch, optimiert Schweißprozesse und übermittelt an Anwender das Know how jahrzehntelanger Arbeit mit der EB-Technik.

Die umfangreiche Schulung des Kundenpersonals gehört ebenso zu den Leistungen wie eine weltweite Versorgung mit Ersatzteilen und qualifiziertem Service.

EBOGEN-D

Die in dieser Druckschrift enthaltenen Beschreibungen, Gerätedaten und Abbildungen dienen der Kundeninformation und sind nicht bindend. Der Hersteller ist zur Änderung seiner Produkte jederzeit berechtigt.

© Steigerwald Strahltechnik GmbH 06/2010



STEIGERWALD STRAHLTECHNIK GMBH

Member of the Global Beam Technologies AG