



Ihre Partner weltweit

**ARGENTINA**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**AUSTRALIA**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**AUSTRIA**  
POLYSOUDE AUSTRIA GmbH  
☎ +43 (0) 3613 2 00 36

**BELGIUM**  
POLYSOUDE BENELUX  
☎ +31 (0) 653 84 23 36

POLYSOUDE BENELUX (SERVICE)  
☎ +31 (0) 653 38 85 58

**BRAZIL**  
AJADE COMÉRCIO INSTALAÇÕES E SERVIÇOS Ltda  
☎ +55 (0) 11 4524 3898

**BULGARIA**  
KARWELD EOOD  
☎ +359 (0) 29 73 32 15

**CANADA**  
MAG TOOL - West  
☎ +1 800 661 9983

MAG TOOL - East  
☎ +1 905 699 5016

**CHINA**  
POLYSOUDE SHANGHAI CO. LTD.  
☎ +86 (0) 21 64 09 78 26

**CROATIA**  
EUROARC D.O.O.  
☎ +385 (0) 1 240 60 77

**CZECH REPUBLIC**  
POLYSOUDE CZ  
☎ +420 602 602 855

**DENMARK**  
HALL & CO. INDUSTRI  
☎ +45 (0) 39 56 06 76

**EGYPT**  
POLYSOUDE UK  
☎ +44 (0) 1942 820 935

**ESTONIA**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**FINLAND**  
SUOMEN TEKNOHAUS OY  
☎ +358 (0) 927 47 2 10

**FRANCE**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**GERMANY**  
POLYSOUDE DEUTSCHLAND GmbH - DUSSELINGEN  
☎ +49 (0) 7072 60 07 60

**GREAT BRITAIN**  
POLYSOUDE UK  
☎ +44 (0) 1942 820 935

**GREECE**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**HUNGARY**  
POLYWELD Kft.  
☎ +36 (0) 20 29 88 708

**INDIA**  
POLYSOUDE INDIA  
☎ +91 (0) 20 400 35 931



**INDONESIA**  
POLYSOUDE SINGAPORE OFFICE  
☎ +65 0734 8452

**ISRAEL**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**ITALY**  
POLYSOUDE ITALIA SRL  
☎ +39 (0) 2 93 79 90 94

**JAPAN**  
GMT CO Ltd. - KAWASAKI  
☎ +81 (0) 44 222 67 51

GMT CO Ltd. - OSAKA  
☎ +81 (0) 798 35 67 51

**JORDAN**  
POLYSOUDE UK  
☎ +44 (0) 1942 820 935

**LATVIA**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**LITHUANIA**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**MALAYSIA**  
POLYSOUDE SINGAPORE OFFICE  
☎ +65 0734 8452

**MEXICO**  
ASTRO ARC POLYSOUDE INC.  
☎ +1 (0) 661 702 0141

**NETHERLANDS**  
POLYSOUDE BENELUX  
☎ +31 (0) 653 84 23 36

POLYSOUDE BENELUX (SERVICE)  
☎ +31 (0) 653 38 85 58

**NEW ZEALAND**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**NORWAY**  
TEMA NORGE S.A.S.  
☎ +47 (0) 51 69 25 00

**PAKISTAN**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**PHILIPPINES**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**POLAND**  
UNIDAWELD - BEDZIN  
☎ +48 (0) 32 267 05 54

**PORTUGAL**  
POLYSOUDE IBERIA OFFICE  
☎ +34 609 154 683

**ROMANIA**  
DEBISUD CONCEPT S.R.L.  
☎ / Fax +40 (0) 255 21 57 85

**RUSSIA - C.I.S.**  
POLYSOUDE RUSSIA  
☎ +7 (0) 495 564 86 81

**SAUDI ARABIA**  
ALRUQEE INDUSTRIAL MARKETING Co Ltd  
☎ +966 (0) 3857 6383

**SINGAPORE**  
POLYSOUDE SINGAPORE OFFICE  
☎ +65 0734 8452

**SLOVAKIA**  
POLYSOUDE CZ  
☎ +42 (0) 602 602 855

**SOUTH AFRICA**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

**SOUTH KOREA**  
CHEMIKO CO. Ltd  
☎ +82 (0) 2 567 5336

**SPAIN**  
POLYSOUDE IBERIA OFFICE  
☎ +34 609 154 683

**SWEDEN**  
HALL & CO. INDUSTRI  
☎ +45 (0) 39 59 06 76

**SWITZERLAND**  
POLYSOUDE (SWITZERLAND) INC.  
☎ +41 (0) 43 243 50 80

**TAIWAN R.O.C.**  
FIRST ELITE ENT. CO. Ltd  
☎ +886 (0) 287 97 88 99

**THAILAND**  
POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +86 (0) 65 6862 60 08

**TURKEY**  
EGE MAKINE  
☎ +90 (0) 212 237 36 00

**UNITED ARAB EMIRATES**  
SALWO TRADING Ltd  
☎ +971 (0) 48 81 05 91

**UKRAINE**  
POLYSOUDE RUSSIA  
☎ +7 (0) 495 564 86 81

**UNITED STATES**  
ASTRO ARC POLYSOUDE INC.  
☎ +1 (0) 661 702 0141

**VENEZUELA**  
ENRIVA C.A.  
☎ +58 (0) 412 34 82 602

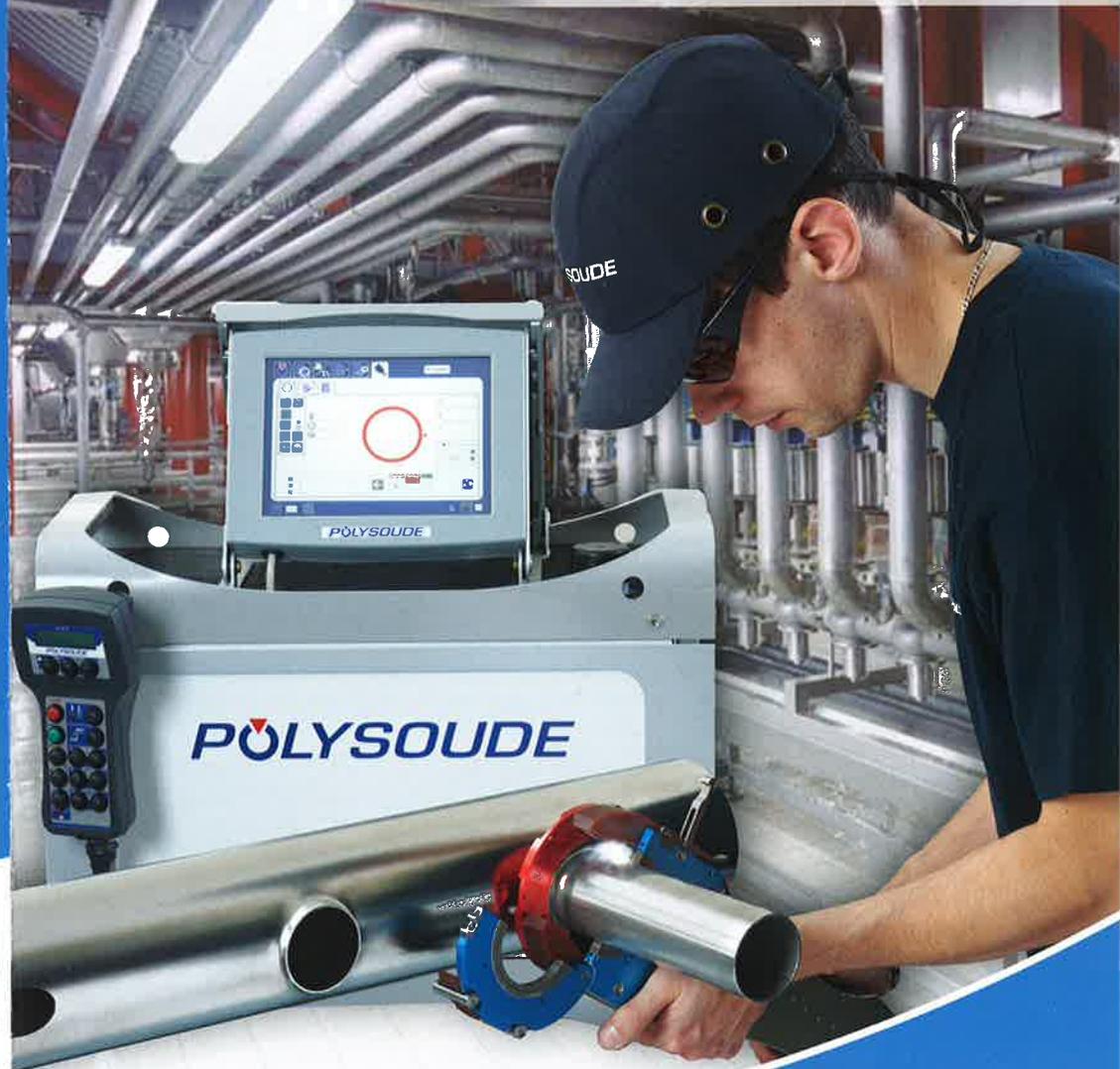
**VIETNAM**  
ANH DUONG IT Ltd  
☎ +84 22.159.532



Find us on Facebook

**POLYSOUDE**  
THE ART OF WELDING

Das Handbuch des Orbitalschweißens



Aktualisierung: 09/2016

Erteilt durch POLYSOUDE Nantes ☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

Polysoude S.A.S.

ZI du Bois Briand • 2 rue Paul Beaupère  
44300 NANTES - FRANCE

Tel.: +33 (0) 2 40 68 11 00 • Fax: +33 (0) 2 40 68 11 88

www.polysoude.com

PN-0509078

A Member of



**POLYSOUDE**  
THE ART OF WELDING

## Notizen

Originalausgabe: 2009 - Aktualisierung: 03/2016 - Polysoude S.A.S. Nantes Frankreich  
Fotos, Schemen und Zeichnungen dienen dem Verständnis und sind daher unverbindlich.  
Alle Wiedergaberechte vorbehalten. Ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers darf dieses  
Dokument weder insgesamt, noch teilweise in irgendwelcher Form und mit irgendwelchem Mittel,  
ob elektronisch oder mechanisch, einschließlich Fotokopie, Aufnahme oder Datentechnik, reprodu-  
ziert werden.  
Gedruckt in Frankreich  
Herausgegeben von: Polysoude, Nantes (Frankreich)  
www.polysoude.com info@polysoude.com

ISO 9001

BUREAU VERITAS  
Certification





## Notizen

**Inhaltsverzeichnis**

1. Vorwort	7
2. Was versteht man unter Orbitalschweißen?	7
3. Funktionsweise des WIG- (GTAW) Prozesses	7
3.1. Vorzüge/Nachteile des WIG- (GTAW) Schweißens	8
3.2. Arten des Schweißstromes	8
3.3. Wolframelektroden	9
3.4. Zusatzdraht	9
3.5. Schutzgas	10
3.6. Beim Schweißen eingebrachte Energie	11
4. Gründe für die Wahl des Orbitalschweißens	13
4.1. Deutliche Erhöhung der Produktivität gegenüber manuellem Schweißen	13
4.2. Gleichmäßig hoher Qualitätsstandard der Schweißungen	13
4.3. Qualifizierung des Bedienungspersonals	13
4.4. Einsatzbedingungen	13
4.5. Zurückverfolgbarkeit / Qualitätsüberwachung	13
5. Industriebereiche, in denen das WIG-Orbitalschweißen eingesetzt wird	14
5.1. Luft- und Raumfahrtindustrie	14
5.2. Lebensmittel- und Getränkeindustrie	14
5.3. Pharmaindustrie und Biotechnologie	14
5.4. Halbleiterindustrie	15
5.5. Chemische Industrie	15
5.6. Mit fossilen oder Kernbrennstoffen betriebene Kraftwerke	15
6. Besonderheiten des Orbitalschweißens	16
6.1. Genormte Benennung der Schweißpositionen	16
6.2. Gepulster Schweißstrom	16
6.3. Programmierung von Sektoren	17



7. Die Komponenten einer Orbitalschweißanlage	17
8. Programmierbare Schweißstromquellen	18
8.1. Gemeinsame Eigenschaften	18
8.2. Tragbare Orbitalschweißstromquellen	18
8.3. Mobile Orbitalschweißstromquellen für den Einsatz in der Vorfertigung	19
8.4. Modulare Orbitalschweißstromquellen	20
9. Orbitalschweißköpfe	20
9.1. Orbitalschweißköpfe zum Rohr-an-Rohr Schweißen	20
9.2. Orbitalschweißköpfe für das Rohr-Rohrbodenschweißen	22
10. Drahtvorschubgeräte	23
11. Steuerungsfunktionen einer Orbitalschweißanlage	23
11.1. Schutzgassteuerung	23
11.2. Schweißstrom	24
11.3. Drehbewegung des Schweißbrenners	25
11.4. Drahtvorschub	26
11.5. Lichtbogenhöhensteuerung AVC (Arc Voltage Control)	27
11.6. Brennerpendelung	28
11.7. Fernbedienung	29
11.8. Kühlung	29
12. Ablauf eines Schweißzyklus	30
12.1. Programmaufbau eines Orbitalschweißzyklus bei 4 gesteuerten Achsen	30
12.2. Benutzeroberflächen zum Programmieren der Orbitalschweißzyklen	31
12.3. Offline-Programmierung mit Hilfe eines PC	32
13. Schweißdatenerfassung im Echtzeitmodus	33
13.1. Kalibrierung	33
13.2. Integrierte Schweißdatenerfassung in Echtzeit	33
13.3. Externes Schweißdatenerfassungssystem	34

Die Distanz zwischen der Vorderkante des Rohrbodens und der Schweißfuge muss exakt eingehalten werden (sehr enge Toleranz), denn der Nutzer kann weder die Brennerposition im Rohr sehen oder sie justieren, noch kann er den Schweißprozess beobachten.

Das Schweißverhalten der Werkstoffe beim Schweißen ohne und mit Zusatzdraht wurde bereits im Kapitel 14,7 erläutert.

Für Innenrohrschweißoperationen hinter dem Rohrboden können Schweißausrüstungen mit 3 oder 4 gesteuerten Achsen zum Einsatz

kommen. Bei der Nahtvorbereitung des Typs X werden 5 Achsen benötigt. Außerdem muss ein mit einer speziellen Schweißblanze versehener Schweißkopf verfügbar sein.

**Ähnlicher Anwendungsfall:** Wenn bei einem in der Kraftwerkstechnik verwendeten Bauteil Nippel auf einen Kollektor geschweißt werden müssen, liegen die gleichen Werkstoffe, wie beim Innenrohrschweißen vor. Auch die Vorbereitungen und die Durchführung der Schweißoperation verlangen die gleiche Aufmerksamkeit, wie beim Innenrohrschweißen.

## 17. Schlussbetrachtung

Am Ende dieses Handbuches soll noch einmal die Bedeutung der verschiedenen Techniken des WIG-Orbitalschweißens bei der Herstellung qualitativ hochwertiger Rohrverbindungen unterstrichen werden. Es gehört seit langem zur Tradition des französischen Unternehmens Polysoude, als Vorreiter auf diesem Gebiet, technisch anspruchsvolle Lösungen anzubieten. Neben einer großen Auswahl von Standardmaschinen können durch den Einsatz modular aufgebauter Komponenten auf kundenspezifische Problemstellungen zugeschnittene Sondermaschinen geliefert werden. Durch optimal abgestimmte Schweißstromquellen, Schweißwerkzeuge und Zubehör wird den speziellen Rahmenbedingungen eines jeden Projekts Rechnung getragen. Innovative

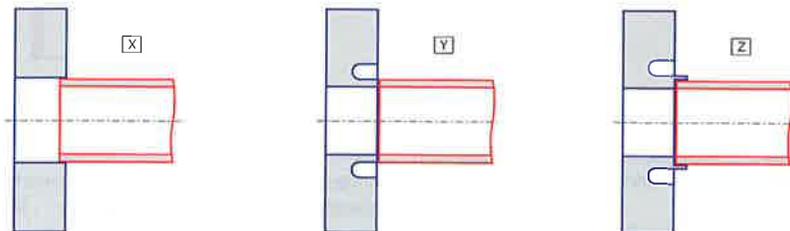
Konzepte und Umsetzungen tragen dazu bei, auch anspruchsvollste Auftraggeber zufriedenzustellen.

Durch die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit Kunden, bei der gemeinsam Lösungsansätze schweißtechnischer Aufgaben erarbeitet werden und die stetige Bereitschaft, die Grenzen des technisch Machbaren ein wenig nach vorne zu verschieben, hat sich Polysoude zum Führer auf dem Markt des mechanisierten und automatisierten WIG-Schweißens entwickelt. Die Mitarbeiter der Verkaufsabteilung, die Konstrukteure und die erfahrenen Schweißer in der Anwendungstechnik würden sich freuen, auch in ihre schweißtechnischen Aktivitäten eingebunden zu werden.

### Innenrohrschweißen hinter dem Rohrboden

Um Spaltkorrosion zwischen den Rohren und dem Rohrboden auszuschließen, werden spaltlose Verbindungen durch Innenrohrschweißungen an der Rückseite des Rohrbodens verwirklicht. Diese Art der Anwendung erfordert eine besonders präzise Werkstückvorbereitung und eine vollkommene Beherrschung des Schweißprozesses. Verschiedene Typen möglicher Nahtvorbereitung werden gezeigt:

- X: Standardnahtvorbereitung ohne Schweißfuge    Z: Nahtvorbereitung mit Entlastungsnute, Rohrende zurückgesetzt  
 Y: Nahtvorbereitung mit Entlastungsnute, Rohrende nicht zurückgesetzt



Die Nahtvorbereitung des Typs X ist nicht zu empfehlen. Durch die großen Massenunterschiede zwischen Rohr und Rohrboden wird eine verlässliche Durchschweißung praktisch ausgeschlossen.

Bei der Nahtvorbereitung des Typs Y wird das Durchschweißproblem auf Grund der ausgeglicheneren Massenverteilung beherrschbar.

Mit der Nahtvorbereitung des Typs Z gelingt es, ähnliche Randbedingungen wie beim Standard-Orbitalschweißen von Rohr-Rohr-Fügebraufgaben zu schaffen:

- Durch den Kragen werden Bohrung und Rohr ausgerichtet.
- Durch das Niederschmelzen des Kragens steht zusätzlicher Werkstoff zur Verfügung, der die mechanische Festigkeit der Verbindung erhöht.
- einem Nahtrückfall wird vorgebeugt.

**Für Fachleute:** Anders als bei klassischen Rohr-Rohrbodenschweißoperationen ist beim Innenrohrschweißen eine Schutzgasabdeckung der Nahtwurzel (an der Außenseite des Rohres) erforderlich. Nur bei der Nahtvorbereitung des Typs X kann auf den Wurzelschutz verzichtet werden, wenn das Rohrende tief genug (i.A. 50% der Rohrwandstärke) in den Rohrboden

hineinragt. Der Wurzelschutz kann durch Fluten des kompletten Behälters erfolgen oder, wenn die Rückseite des Rohrbodens zugänglich ist, durch einen lokalen Gasschutz, der am jeweiligen Rohr angebracht wird.

Wenn die Rohrdurchmesser größer als 35 mm sind, können Innenrohrschweißungen mit Zusatzdraht ausgeführt werden.

Bei relativ dickwandigen Rohren (3 mm bis 3,6 mm, je nach Rohrwerkstoff) hat sich die horizontale Schweißposition 2G bzw. PC bewährt (Rohrboden befindet sich unten, in Horizontallage).



Beispiel für Hinterbodenschweißen

14. Rohr-Rohrschweißen ohne Zusatzdraht	34
14.1. Anwendungsgebiete	34
14.2. Ausrüstung	35
14.3. Berechnung von Schweißparameterwerten	37
14.4. Schweißnahtvorbereitung	37
14.5. Elektrodenvorbereitung	38
14.6. Formiergas	39
14.7. Schweißbarkeit und Schwefelgehalt des Stahls	39
15. Rohr-Rohr-Orbitalschweißen mit Zusatzdraht	40
15.1. Anwendungsfälle	40
15.2. Wahl der Stromquelle	40
15.3. Schweißnahtvorbereitung	41
15.4. Positionieren der Rohre	42
15.5. Mehrlagenschweißen	42
15.6. AVC-Einsatz erfordert präzise Elektrodengeometrie	43
15.7. Formiergas	43
15.8. Nicht programmierbare Parameter	43
15.9. Justierung von Brenner und Schweißdraht	44
15.10. Leistungssteigerung beim WIG-Orbitalschweißen	44
16. Rohr-Rohrboden-Orbitalschweißen	46
16.1. Grundwerkstoffe und Rohrabmessungen	46
16.2. Schweißausrüstung	46
16.3. Geforderte Rohreigenschaften und Nahtvorbereitung	47
16.4. Schweißen bündiger Rohre	48
16.5. Schweißen überstehender Rohre	49
16.6. Schweißen zurückgesetzter Rohre	51
17. Schlussbetrachtung	53

## 16.6. Schweißen zurückgesetzter Rohre

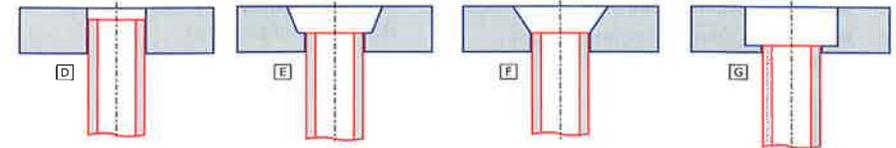
Verschiedene Nahtvorbereitungen werden im Folgenden dargestellt:

D: Standardnahtvorbereitung ohne Schweißfuge

F: V-Nahtvorbereitung

E: J-Nahtvorbereitung

G: Hinterbodenschweißung



Für Rohr-Rohrbodenschweißoperationen an zurückgesetzten Rohren mit Nahtvorbereitungen des Typs D, E und F können Schweißausrüstungen mit 4 oder 5 gesteuerten Achsen zum Einsatz kommen.

Auf die Nahtvorbereitung des Typs G wird häufig im Bereich der petrochemischen Industrie zurückgegriffen. Eine Schweißausrüstung mit 6 gesteuerten Achsen wird dazu mit einem Orbitalschweißkopf TIG 20/160 mit separater Spanneinrichtung kombiniert. Diese Art der Anwendung erfordert stets eine begleitende Studie, um die beste Anpassung der Spannwerkzeuge und Schweißprozeduren sicherzustellen.



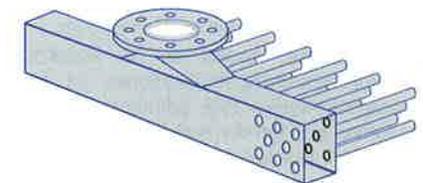
Einschweißen zurückgesetzter Rohre in einen Rohrboden

**Für Fachleute:** Die AVC-Funktion wird besonders beim Schweißen zurückgesetzter Rohre empfohlen.

Anders als bei Rohr-Rohrbodenschweißoperationen an überstehenden Rohren, ist bei zurückgesetzten Rohren eine V-Nahtvorbereitung des Rohrbodens möglich. Bei Nahtvorbereitungen des Typs E oder F können die Rohrenden an ihrem Grund leicht überstehend positioniert werden.

Je nach Rohrabmessungen und geforderter Schweißnahtdicke sind eine oder mehrere Lagen erforderlich. Eine Tour des Schweißbrenners wird bei Dichtnähten angewendet. Weitere Lagen können dann zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit hinzugefügt werden.

**Typischer Anwendungsfall:** Das Schweißen hinter dem Rohrboden, eines doppelwandigen Sammlers für Luftkühlung oder Flüssigkeitskondensation ist nur mit Hilfe der AVC-Steuerung möglich.



Einschweißen zurückgesetzter Rohre in einen Rohrboden

Für Rohr-Rohrbodenschweißoperationen an überstehenden Rohren können Schweißbausrüstungen mit 4 oder 5 gesteuerten Achsen zum Einsatz kommen. Die Teilung und der Rohrüberstand entscheiden über den Brenneranstellwinkel. Standardwinkel sind 15° oder 30°:

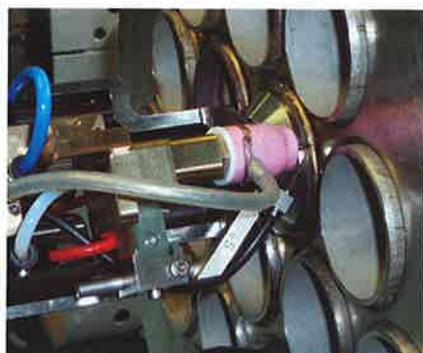
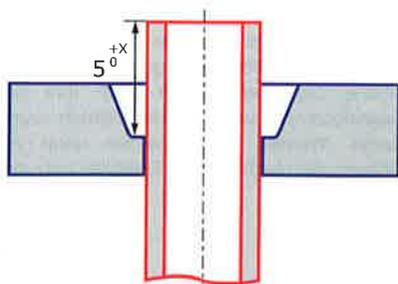
► Brenner mit einem Anstellwinkel von 15° werden vorzugsweise bei dünnwandigen Rohren (1,6 mm bis 2,11 mm Wandstärke) eingesetzt, um ein Anschmelzen der Innenseite zu vermeiden.

► Brenner mit einem Anstellwinkel von 30° eignen sich für dickwandige Rohre (ab 2,5 mm Wandstärke), wenn der Abstand zu den umge-

benden Rohren groß genug ist (reduzierte Teilung).

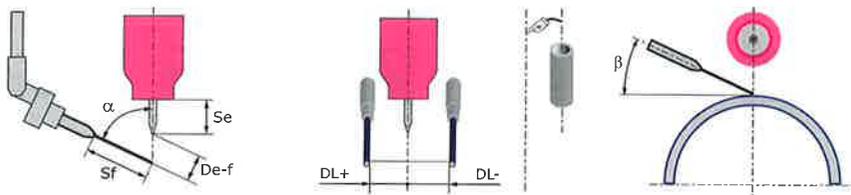
Um das Anschmelzen der Rohrenden zu vermeiden, muss der Rohrüberstand, gemessen vom Grund der Ausfräsung im Rohrboden, mindestens 5 mm betragen.

**Für Fachleute:** Wenn eine Schweißbausrüstung mit 5 gesteuerten Achsen zum Einsatz kommt, sollte die AVC-Steuerung im Modus *relative Höhe* betrieben werden. Die Distanz zwischen Elektrode und Rohrboden kann dann unabhängig von der Brennerstellung mit Hilfe der Fernbedienung so reguliert werden, wie es zum Erzielen des besten Ergebnisses erforderlich ist.



Beispiel für das Einschweißen überstehender Rohre mit einem Polysoude Orbitalschweißkopf TS 8/75

Die Vorbereitung des Rohr-Rohrbodenschweißens bedarf besonderer Aufmerksamkeit und einem speziellen Training des Bedienungspersonals. Anders als beim Rohr-Rohr-Orbitalschweißen, wo die mechanischen Einstellungen des Brenners und der Drahtführung in einer Ebene erfolgen, sind hier dreidimensionale Justierungen erforderlich.



## 1. Vorwort

Das **WIG-Orbitalschweißen** wird in vielen Industriebereichen mit großem Erfolg angewendet und ist zu einem etablierten Fertigungsverfahren geworden. Anwendungsgebiete für diese besondere Form des Orbitalschweißens sind: Luft- und Raumfahrtindustrie, Fahrzeugbau, Nuklearindustrie, Pharmaindustrie, Nahrungsmittelindustrie, Halbleiterindustrie (die Entwicklung winziger Mikrochips) - um nur einige der herausragenden Anwendungen zu nennen, die ohne Orbitalschweißtechnik nicht denkbar wären. Aber auch unser täglicher Bedarf an elektrischem Strom, Öl und Gas kann nur gedeckt werden, wenn dieser Prozess genutzt wird.

In dem vorliegenden Handbuch sind Informationen

über den Orbitalschweißprozess und die für seinen Einsatz notwendige Gerätetechnik zusammengetragen: physikalische Grundlagen, Art und Arbeitsweise der Maschinen, Einsatzgebiete, Standard- und Spezialanwendungen, Vorteile, aber auch Grenzen. Der Bezug zur Praxis wird durch zahlreiche Abbildungen und Beispiele hergestellt.

Die Wiedergabe graphischer Darstellungen und Tabellen soll Ingenieuren, Schweißfachleuten und Projektmanagern bei der Beantwortung der Frage helfen, ob sich anstehende Probleme mit Hilfe der Orbitalschweißtechnik vorteilhaft lösen lassen. Um detailliertere Antworten zu erhalten, wird dazu geraten, die Polysoude Website zu besuchen und mit der Kundenberatung in Kontakt zu treten.

## 2. Was versteht man unter Orbitalschweißen?

Wenn es beim Fügen von Rohren auf höchste Qualität ankommt, bietet das Orbitalschweißverfahren alle Voraussetzungen, um diese Forderungen zu erfüllen. Der Brenner - im Allgemeinen wird das WIG- (Wolfram-Inert-Gas) Verfahren eingesetzt - wird beim Schweißen von einer mechanischen Vorrichtung um die Rohre herumgeführt. Der Name *Orbitalschweißen* weist auf die kreisförmige Bahn hin, auf der sich das Schweißwerkzeug bewegt.

Generell kann man beim Orbitalschweißen zwei große Einsatzgebiete unterscheiden:

- das Fügen Rohr an Rohr;
- das Einschweißen von Rohren in Rohrböden.

Das erste Einsatzgebiet umfasst alle Aufgaben, die im Rohrleitungsbau anfallen: Fügen stumpfer Rohrverbindungen sowie das Schweißen von Flanschen, Bögen, T-Stücken und Armaturen.

Die Schweißaufgaben des zweiten Einsatzgebietes stammen aus dem Kesselbau und der Herstellung von Wärmetauschern: hier müssen die Rohre oder Rohrbündel in entsprechend vorbereitete Böden eingeschweißt werden.

## 3. Funktionsweise des WIG- (GTAW) Prozesses

Beim WIG- oder GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) Schweißen brennt ein elektrischer Lichtbogen zwischen einer nichtabschmelzenden Wolframelektrode und dem Werkstück. Während die Elektrode der vom Lichtbogen freigesetzten Wärme widersteht, wird das Werkstück teilweise aufgeschmolzen: die Schweißnaht entsteht.

Das Schmelzbad und die heiße Elektrode müssen

vor dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff geschützt werden, dazu wird ein Schutzgas wie z.B. Argon genommen.

Wenn mit Zusatzdraht geschweißt werden soll, wird dieser in das flüssige Schweißbad eingeleitet und durch die vom Lichtbogen abgegebene Hitze aufgeschmolzen.

### 3.1. Vorzüge/Nachteile des WIG- (GTAW) Schweißens

#### 3.1.1. Vorzüge

- 1 - Es lassen sich fast alle Metalle fügen.
- 2 - Die verschiedenen Stahlsorten einschließlich der Edelstähle können geschweißt werden. Schweißbar sind auch Refraktärmetalle und verschleißfeste Legierungen, z.B. auf Nickelbasis, sowie Aluminium, Gold, Kupfer, Magnesium, Tantal, Titan, Zirkon und Legierungen dieser Metalle; selbst Bronze und Messing sind mit Einschränkungen schweißbar. Durch den Einsatz von Zusatzdraht ist es möglich, verschiedene Werkstoffe oder Stähle aus unterschiedlichen Schmelzen zu verbinden.
- 3 - Alle Schweißpositionen sind möglich.

#### 3.1.2. Nachteile

- 1 - Im Vergleich zu anderen Schweißverfahren ist die mit dem WIG-Prozess erreichbare Abschmelzleistung verhältnismäßig gering.
- 2 - Die Entwicklung passender Verfahrensabläufe und die genaue Bestimmung der anzuwendenden Parameterwerte erfordern zeit- und kostenintensive Vorarbeiten.
- 3 - Die erforderliche Schweißausrüstung muss einen hohen technischen Standard aufweisen und ist entsprechend kapitalintensiv.

- 4 - Der WIG-Schweißprozess ist besonders stabil und zuverlässig, die Schweißfehlerrate beträgt weniger als 1 %.
- 5 - Durch den Prozess entstehen weder Schweißrauch noch Schlacke.
- 6 - Die entscheidenden Schweißparameter sind in weiten Grenzen unabhängig voneinander variierbar.
- 7 - WIG-Schweißen kann mit oder ohne Zusatzdraht ausgeführt werden.
- 8 - Lichtbogenlänge und Lichtbogenspannung hängen direkt voneinander ab und lassen sich unabhängig vom Schweißstrom automatisch regeln.

- den Parameterwerte erfordern zeit- und kostenintensive Vorarbeiten.
- 3 - Die erforderliche Schweißausrüstung muss einen hohen technischen Standard aufweisen und ist entsprechend kapitalintensiv.

### 3.2. Arten des Schweißstromes

Für das WIG-Schweißverfahren kommen zwei Stromarten in Frage:

- ▶ Gleichstrom (Direct Current DC) wird zum Fügen fast aller Metalle eingesetzt.
- ▶ mit Wechselstrom (Alternating Current AC) werden vorzugsweise Aluminium und Aluminiumlegierungen geschweißt.

Beim Schweißen mit Gleichstrom wird die Elektrode kathodisch geschaltet, d.h. sie wird mit der negativen Klemme der Schweißstromquelle verbunden. Diese Schaltung wird als **DCEN** (Direct Current Electrode Negative) bezeichnet. Die Elektronen, die den elektrischen Lichtbogen bilden, fließen von der Elektrode zum Werkstück. Etwa 70 % der freigesetzten Energie dienen zum Aufheizen des Werkstücks, das entspricht einem Wirkungsgrad von 0,7 (genutzte Energie/freigesetzter Energie).

Wird die Elektrode mit dem positiven Pol der Schweißstromquelle verbunden, d.h. an-

odisch geschaltet, spricht man von **DCEP** (Direct Current Electrode Positive). Der größte Anteil der Energie des Lichtbogens wird hier an die Elektrode übertragen, die dadurch bereits bei niedrigen Schweißstromstärken einer hohen thermischen Belastung ausgesetzt ist. Die überschüssige Hitze kann nur durch im Vergleich zu DCEN große Elektrodendurchmesser abgeleitet werden.

Beim Schweißen mit Wechselstrom ist die Elektrode periodisch positiv oder negativ geladen. Während der Periode positiver Polarität verhält sich die Elektrode als Anode; dadurch entsteht ein Reinigungseffekt, durch den auf der Aluminiumoberfläche haftende Oxide aufgebrochen werden. Während der Periode negativer Polarität wird die Wärmeenergie vorwiegend in das Werkstück geleitet, der Aluminiumwerkstoff wird aufgeschmolzen und die Elektrode kann entsprechend abkühlen.

### 16.4.2. Schweißen bündiger Rohre mit Zusatzdraht

Für Rohr-Rohrbodenschweißoperationen an bündig mit dem Boden abschließenden Rohren können Schweißausrüstungen mit 4 oder 5 gesteuerten Achsen zum Einsatz kommen. Ein Schweißkopf für Rohr-Rohrbodenanwendungen sollte mit einer den Erfordernissen entsprechenden Ausstattung versehen werden:

- Integrierter oder externer Draht-vorschub
- Mit oder ohne AVC-Steuerung
- Mit oder ohne Zusatzschutzgaskammer (wird beim Schweißen von Titan oder Zirkon gebraucht)
- Mit einem Brenneranstellwinkel von 0° oder 15°.

**Für Fachleute:** Die AVC-Funktion wird besonders beim Schweißen bündiger Rohre empfohlen.

Im Allgemeinen werden Rohrendenvorbereitungen des Typs 1, 2 oder 3 angewendet. Durch Bearbeiten des Rohrbodens kann die V-Naht vermieden werden, die immer die Gefahr unvollständiger Aufschmelzung am Grund mit sich bringt. Die J-Nahtvorbereitung ist vorzuziehen, wenn die Tiefe der Ausfräsung 1,5 mm übersteigt, sollte das Rohrende auf der halben Tiefe positioniert werden. Der Maximalwert der möglichen Rohrrücknahme liegt bei 50 % der Rohrwandstärke. Das Rohr schließt nach der Schweißung dann noch bündig mit dem Rohrboden ab.

Je nach Rohrabmessungen und geforderter Schweißnahtdicke sind generell eine oder mehrere Lagen erforderlich. Eine Tour des Schweißbrenners wird bei Dichtnähten angewendet. Weitere Lagen können dann zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit hinzugefügt werden.



Beispiel für das Einschweißen bündiger Rohre mit einem Polysoude Orbitalschweißkopf TS 8/75

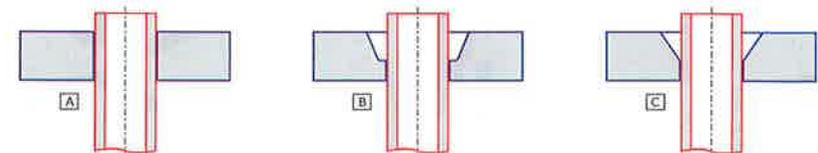
### 16.5. Schweißen überstehender Rohre

Überstehende Rohre werden immer mit Zusatzdraht eingeschweißt. In einigen Fällen wird allerdings mit einer Tour des Schweißbrenners zum Anschmelzen ohne Zusatzdraht begonnen:

A: Standard-Nahtvorbereitung

C: V-Nahtvorbereitung

B: J-Nahtvorbereitung



3 - Um eine gute thermische Leitfähigkeit zu erzeugen, wird in einigen Fällen das Spiel in der Bohrung des Rohrbodens durch leichtes Aufweiten der Rohre beseitigt. Ein gewisses Spiel ist zur Montage der Rohre vor der Schweißung erforderlich. Wenn es jedoch zu groß werden sollte, besteht die Gefahr mangelnder Wiederholgenauigkeit. Das zulässige Spiel hängt im Einzelfall von der geforderten Qualität der Schweißung, der Rohrwandstärke und zahlreichen anderen Einflussfaktoren ab.

**Für Fachleute:** Um optimal abgestimmte Zentrierdorne für die Rohr-Rohrbodenschweißköpfe zu erhalten, müssen bei der Bestellung die Aufweitungstiefe, der

aufgeweitete Rohrdurchmesser und der Originaldurchmesser angegeben werden.

4 - Die Berührungszone zwischen Rohr und Rohrboden muss absolut sauber sein. Fett, Öl oder andere Rückstände der Rohrerstellung oder -bearbeitung führen zu nicht akzeptablen Schlauchporen (offen oder geschlossen) in der Schweißnaht.

5 - Vor dem automatisierten Schweißen darf niemals eine starke Aufweitung der Rohre im Rohrboden (mit oder ohne Nuten in der Bohrung) vorgenommen werden, die sonst auftretenden Entgasungsvorgänge gehen explosionsartig vonstatten und machen ein einwandfreies Schweißen unmöglich.

## 16.4. Schweißen bündiger Rohre

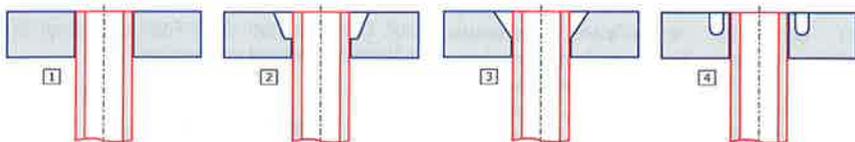
Bündig mit dem Rohrboden abschließende Rohre können mit und ohne Zusatzdraht geschweißt werden. Verschiedene Nahtvorbereitungen werden im Folgenden dargestellt:

A: Standard-Nahtvorbereitung

B: J-Nahtvorbereitung

C: V-Nahtvorbereitung

D: Entlastungsnute



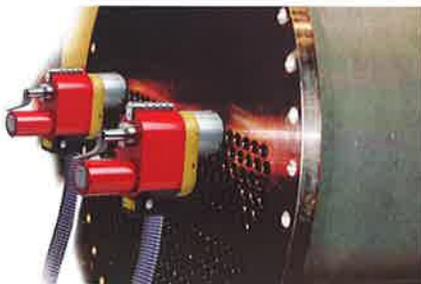
### 16.4.1. Schweißen bündiger Rohre ohne Zusatzdraht

Beim Schweißen bündiger Rohre ohne Zusatzdraht wird fast immer eine Nahtvorbereitung entsprechend Typ 1 angewendet. Selten wird auf den Typ 2 zurückgegriffen. Bei Rohrdurchmessern zwischen 10mm und 32mm werden die extra für diesen Einsatz entwickelten Rohr-Rohrbodenschweißköpfe ohne Zusatzdraht empfohlen.

Bei den angesprochenen Rohr-Rohrbodenschweißoperationen ist es die Aufgabe des Bedieners, den Schweißkopf zu positionieren und den Zyklus zu starten. Der übrige Vorgang läuft danach automatisch ab. Der Nutzer kann daher mit mehreren Schweißköpfen simultan arbeiten. Typischer Anwendungsfall:

Rohr-Rohrbodenschweißoperationen, die für Kondensatoren thermischer Kraftwerke

bestimmt sind. Die aus Titan gefertigten Rohre müssen in titanbeschichtete Rohrböden eingeschweißt werden.



Beispiel für das Einschweißen bündiger Rohre mit zwei Polysoude Orbitalschweißköpfen TS 34

## 3.3. Wolframelektroden

### 3.3.1. Elektrodentypen

Wolfram ist ein Refraktärmetall mit einem sehr hohen Schmelzpunkt von 3.410°C. Es widersteht der Wärmebeaufschlagung des Lichtbogens und behält seine mechanische Festigkeit, selbst wenn es bis auf Rotglut erhitzt wird.

Thoriumlegierte Wolframelektroden wurden in der Vergangenheit sehr häufig eingesetzt, allerdings geht von dem Thorium eine schwach radioaktive Strahlung aus, so dass beim Anschleifen dieser Art von Wolframelektroden besondere

Schutzmaßnahmen getroffen werden müssen. Seit einiger Zeit sind legierte Wolframelektroden erhältlich, die andere seltene Erden enthalten, z.B. Zr oder Lanthan. Da Zr und Lanthan keine Radioaktivität entwickeln, ist die Entsorgung der Schleifstäube deutlich einfacher. Bezüglich ihrer schweißtechnischen Eigenschaften sind zerierte oder lanthanierte Wolframelektroden den thorierten Typen ebenbürtig.

### 3.3.2. Elektrodenanschliff

Die für reproduzierbare Orbitalschweißergebnisse wichtige präzise Einhaltung der Elektrodengeometrie, durch die die Lichtbogenstabilität und die Durchschweißereigenschaften maßgeblich beeinflusst werden, lässt sich nur durch Verwendung von speziell dafür vorgesehenen Schleifgeräten sicherstellen.

Die Konstruktion des Elektrodenschleifgerätes muss sicherstellen, dass die Schleifriefen am angespitzten Teil der Elektrode parallel zu den Korngrenzen verlaufen, also in Richtung der Längsachse der Elektrode. Dadurch werden die Zündeigenschaften verbessert und ein stabil brennender Lichtbogen ermöglicht.



Richtiger Anschliff: Schleifriefen in Längsrichtung



Falscher Anschliff: konzentrische Schleifriefen

## 3.4. Zusatzdraht

Verschiedene Randbedingungen können die Verwendung von Zusatzdraht erforderlich machen:

1 - Eine Verstärkung der Schweißnaht ist notwendig.

2 - Kohlenstoffstähle (Baustähle) oder niedrig legierte Stähle sind zu schweißen.

3 - Die Rohrenden wurden einer Nahtvorbereitung unterzogen, z.B. Tulpen- oder V-Naht.

4 - Im Falle metallurgischer Unverträglichkeiten bei unterschiedlichen Werkstoffen sollen Schweißfehler vermieden werden.

Als bekanntes Beispiel wird die Verbindung zwischen Baustahl und dem korrosionsbeständigen Stahl des Typs 316 herangezogen, die sich nur

durch Zusatz von aus der Stahlsorte 309 oder der Nickelbasislegierung Inconel 82® bestehendem Schweißdraht einwandfrei herstellen lässt.

5 - Wenn die Werkstoffe beim Schweißen ihre Zusammensetzung ändern oder Gefügeumwandlungen auftreten. Legierungselemente können in der Schweißhitze verdampfen oder neue Verbindungen bilden. Aus metallischem Chrom entstehen beispielsweise durch Kohlenstoffdiffusion Chromkarbide. Der Gehalt an metallischem Chrom in der Wärmeinflusszone HAZ (Heat Affected Zone) sinkt und mit ihm der Korrosionswiderstand des Werkstoffes in diesem Bereich.

### 3.5. Schutzgas

#### 3.5.1. Schweißschutzgase

**Argon** ist das am häufigsten in der WIG-Schweißtechnik eingesetzte Schutzgas. Es besitzt gute Zünderigenschaften und ermöglicht selbst bei niedriger Schweißstromstärke eine hervorragende Lichtbogenstabilität. Durch die gebündelte Lichtbogenausbildung wird das Schmelzbad klein gehalten. Argon verträgt sich mit allen schweißbaren Werkstoffen.

Schweißschutzgas für WIG-Standardanwendungen sollte eine Mindestreinheit von 4,5 aufweisen, d.h. einen Reinheitsgrad von 99,995 %. Bei schwer schweißbaren Werkstoffen wie Tantal, Titan, Zirkon und deren Legierungen sollte mindestens eine Reinheit von 4,8 gewählt werden, das entspricht einem Reinheitsgrad von 99,998 %.

Durch Verwendung eines Argongemisches mit einem Wasserstoffanteil von 2% bis 5% kann die Schweißenergie intensiver auf das Werkstück konzentriert werden. Eine Erhöhung der Energieeinbringung von 10% bis 20% verbessert die Durchschweißung und erlaubt größere Schweißgeschwindigkeiten. Argon-Wasserstoffgemische helfen durch ihre reduzierenden Eigenschaften, die Oxidation der Schweißnaht zu verringern. Allerdings besteht bei Baustählen und niedrig legierten Stählen durch eindiffundierenden Wasserstoff die Gefahr von Poren- und Kaltrissbildung, weswegen von wasserstoffhaltigen Schutzgasen abgeraten wird; beim Schweißen von Aluminium und Titan sind diese Gasgemische verboten.

Eine gezieltere Einbringung der Schweißenergie in das Werkstück kann auch durch Verwendung von Argongasgemischen mit 20 %, 50 % oder 70 % Heliumanteil oder sogar reinem Helium erreicht werden. Da der Einsatz von Helium bei Titan keine störenden Effekte hervorruft, wird es insbesondere beim WIG-Schweißen von Titan und titanhaltigen Legierungen eingesetzt.

Als Schutzgase zum Schweißen von Duplex- und Superduplexstählen eignen sich insbesondere Mischungen aus Argon, Helium und Stickstoff.

Im Gegensatz zu Argon verfügt **Helium** über eine gute Wärmeleitfähigkeit. Die Lichtbogenspannung weist wesentlich höhere Werte auf, wenn Helium als Schweißschutzgas verwendet wird. Dadurch wird die Lichtbogenenergie beträchtlich gesteigert. Die Lichtbogensäule bekommt einen größeren Fußpunkt und ermöglicht einen tiefen Einbrand. Insbesondere Werkstoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit, also Kupfer, Aluminium und Leichtmetalllegierungen lassen hervorragende Schweißergebnisse erwarten, wenn mit reinem Helium geschweißt wird. Da Helium ein sehr niedriges spezifisches Gewicht hat, muss die Durchflussrate um das zwei- bis dreifache gesteigert werden, damit eine in der Wirkung mit Argon vergleichbare Gasabdeckung erzielt wird.

In der nachstehenden Tabelle wird gezeigt, welche Schweißschutzgase für die verschiedenen Grundwerkstoffe geeignet sind:

	Ar	Ar + H <sub>2</sub>	Ar + Hé	Ar + N <sub>2</sub>	He
Kohlenstoffstahl / niedrig legierter Stahl	***	**	**	*	**
Austenitischer Stahl	***	**	**	**	**
Duplex- / Superduplex-Stahl	**	**	**	***	**
Kupfer	***	X	***	**	***
Aluminium	***	X	***	*	***
Titan	***	X	***	X	***

- Ar** Argon
- N<sub>2</sub>** Stickstoff
- H<sub>2</sub>** Wasserstoff
- He** Helium
- \*\*\*** empfohlen
- \*\*** geeignet
- \*** nicht geeignet
- X** untersagt



**4** - Die Ausrüstung zum Rohr-Rohrbodenschweißen mit 6 gesteuerten Achsen (Schweißschutzgas, Schweißstrom, Brennerdrehbewegung, Drahtvorschub, AVC und Pendelung) setzt sich aus einer Stromquelle des Typs PC und einem Schweißkopf TIG 20/160 zusammen. Mit dieser Ausrüstung ist Multipass-Schweißen möglich (zwei oder mehr Lagen). Die Anpassung der Brennerhöhe nach Einbringen jeder Lage wird automatisch ausgeführt. Der Brenner kann seitlich gefahren oder gependelt werden.

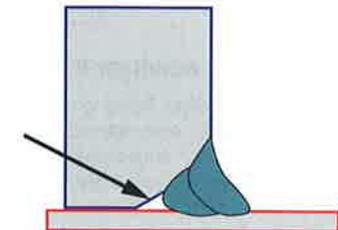
Makrographisches Schlibbild einer spaltlos hinter dem Boden eingeschweißten Rohr-Rohrbodenverbindung

### 16.3. Geforderte Rohreigenschaften und Nahtvorbereitung

Es gibt einige Punkte, denen bei der Planung und Vorbereitung von Rohr-Rohrbodenschweißoperationen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muss:

**1** - Es können nur nahtlose Rohre (oder solche mit geglätteter Schweißnaht) verwendet werden, bei denen Konzentritätsabweichungen zwischen Innen- und Außenseite auf ein Minimum beschränkt bleiben, um eine einwandfreie Positionierung der Elektrode zu ermöglichen. Bei den üblichen Anwendungen (bündige, überstehende oder zurückgesetzte Rohre) wird der Schweißbrenner an der Kontur der Innenseite des Rohres geführt, während an der Außenseite geschweißt wird. Konzentritätsabweichungen verursachen eine Änderung der Distanz zwischen Elektrode und Werkstückoberfläche und beeinflussen dadurch in unzulässiger Weise die Lichtbogenlänge und die Schweißnahtausbildung.

**2** - Es ist praktisch ausgeschlossen, bei einer V-Nahtvorbereitung den Grund vollständig aufzuschmelzen. Bindefehler (die bei Makroschliffen sehr deutlich zu erkennen sind) treten besonders häufig im Bereich der vertikalen Fallnahtposition auf. Daher ist statt der V-Form unbedingt eine J-Nahtvorbereitung anzustreben.



Bindefehler am Grund einer V-Nahtvorbereitung

## 16. Rohr-Rohrboden-Orbitalschweißen

### 16.1. Grundwerkstoffe und Rohrabmessungen

Auf dem Gebiet des Rohr-Rohrbodenschweißens sind praktisch alle metallischen Grundwerkstoffe vertreten. Die Rohrabmessungen sind allerdings relativ eingeschränkt. Die Rohrdurchmesser umfassen den Bereich von 12,7 mm bis 101,6 mm. Die Wandstärken bewegen sich zwischen 0,5 mm und 5 mm. Am häufigsten sind Rohrdurchmesser zwischen 19,05 mm (¾") und

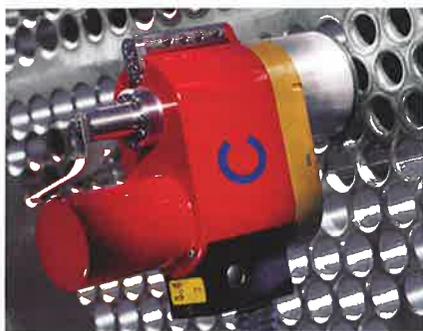
38,1 mm (1 ½") mit Wandstärken von 1,65 mm bis 3,4 mm vertreten.

Boiler und Wärmetauscher werden in nahezu jedem Industriebereich eingesetzt, während die stabilen Hochtemperaturkesselkonstruktionen vorwiegend in der chemischen und petrochemischen Industrie und bei der Energiegewinnung zu finden sind.

### 16.2. Schweißausrüstung

Die Ausrüstung zum Rohr-Rohrbodenschweißen wird im Allgemeinen streng projektbezogen und dem gewünschten Automatisierungsgrad entsprechend ausgewählt:

**1 -** Die Ausrüstung zum Rohr-Rohrbodenschweißen mit 3 gesteuerten Achsen (Schweißschutzgas, Schweißstrom und Brennerdrehbewegung) setzt sich aus einer Stromquelle für den Werkstatteinsatz\* und einem geschlossenen Schweißkopf zusammen. Es wird ohne Zusatzdraht gearbeitet.



Beispiel einer Schweißausrüstung mit 3 gesteuerten Achsen und einem Polysoude TS 34 Orbitalschweißkopf

\*Portable Schweißstromquellen werden beim Rohr-Rohrbodenschweißen äußerst selten eingesetzt, da sie bei der Fertigung in der Werkstatt nie getragen werden müssen.

**2 -** Die Ausrüstung zum Rohr-Rohrbodenschweißen mit 4 gesteuerten Achsen (Schweißschutzgas, Schweißstrom, Brennerdrehbewegung und Drahtvorschub) setzt sich aus einer Stromquelle für den Werkstatteinsatz\* und einem offenen Schweißkopf zusammen. Mit dieser Ausrüstung wird einlagig mit Zusatzdraht gearbeitet. Zweilagige Schweißungen müssen in zwei getrennten Durchläufen eingebracht werden.

**3 -** Die Ausrüstung zum Rohr-Rohrbodenschweißen mit 5 gesteuerten Achsen (Schweißschutzgas, Schweißstrom, Brennerdrehbewegung, Drahtvorschub und AVC) setzt sich aus einer Stromquelle mit Steuerungsmöglichkeiten für 6 Achsen und einem Schweißkopf TS 28/75 mit AVC-Schlitten zusammen. Mit dieser Ausrüstung wird mehrlagig mit Zusatzdraht gearbeitet. Die Anpassung der Brennerhöhe nach Einbringen der Lagen wird automatisch ausgeführt. Der Schweißzyklus braucht nicht unterbrochen zu werden.

### 3.5.2. Formiergase

Bei den meisten Orbitalschweißanwendungen wird eine besonders gute Nahtqualität der Wurzeloberfläche an der Innenseite der Rohre gefordert, da diese im Allgemeinen direkt mit dem geförderten Medium in Kontakt tritt. Das heiße Metall muss vor, während und nach dem Schweißvorgang vor dem Zutritt von

Luftsauerstoff aus der umgebenden Atmosphäre geschützt werden. Diese Aufgabe wird von dem Formiergas übernommen, das aus Argon und werkstoffabhängig, reduzierenden N<sub>2</sub>- oder H<sub>2</sub>-Anteilen besteht. Die Einsatzmöglichkeiten typischer Formiergase sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

	Ar	N <sub>2</sub>	Ar + H <sub>2</sub> ou N <sub>2</sub> + H <sub>2</sub>
Kohlenstoffstahl / niedrig legierter Stahl	***	***	*
Austenitischer Stahl	***	***	***
Duplex- / Superduplex-Stahl	**	***	**
Kupfer	***	**	**
Aluminium	***	*	✗
Titan	***	✗	✗

**Ar** Argon  
**N<sub>2</sub>** Stickstoff  
**H<sub>2</sub>** Wasserstoff  
**\*\*\*** empfohlen  
**\*\*** geeignet  
**\*** nicht geeignet  
**✗** untersagt

## 3.6. Beim Schweißen eingebrachte Energie

### 3.6.1. Einfluss der Streckenenergie

Die beim Schweißen in das Werkstück eingebrachte Streckenenergie lässt sich nicht messen, sie kann nur auf rechnerischem Weg bestimmt werden. Mit ihrer Hilfe lässt sich der Wärmeeintrag bei verschiedenen Schweißabläufen eines Schweißverfahrens vergleichen. Der Wärmeeintrag beeinflusst die Abkühlgeschwindigkeit sowie die wärme-beeinflusste Zone (HAZ Heat Affected Zone) neben der Schweißnaht. Eine kleinere Streckenenergie führt zu höheren Abkühlgeschwindigkeiten und einer schmaleren HAZ. Durch höhere Abkühlgeschwindigkeiten lassen sich Veränderungen des Mikrogefüges im Grundwerkstoff begrenzen, hierunter fallen Kornwachstum oder Phasenänderungen mit Verminderung der Festigkeit und der Korrosionsbeständigkeit durch Ausscheidungen. Bei vielen empfindlichen Werkstoffen, z.B. thermomechanisch behandelten oder korrosionsbeständigen Stählen, werden die maximalen

Streckenenergien durch den Hersteller festgelegt und in den Werkstoffblättern angegeben.

Wenn beim Handschweißen eine bestimmte Streckenenergie eingehalten werden soll, muss der Schweißer die Lichtbogenlänge während des gesamten Schweißvorgangs konstant halten, dadurch wird sichergestellt, dass die Lichtbogenspannung nicht schwankt. Zusätzlich wird von dem Schweißer verlangt, die Schweißung innerhalb von einer bestimmten Zeit zu vollenden, da die Streckenenergie auch durch die Schweißgeschwindigkeit signifikant beeinflusst wird.

Beim automatisierten WIG-Schweißen werden die Lichtbogenspannung, die Schweißstromstärke und die Schweißgeschwindigkeit laufend kontrolliert und auf dem vorgegebenen Wert gehalten. Die Forderung, eine bestimmte Streckenenergie einzuhalten, kann hier ohne Schwierigkeiten erfüllt werden.

### 3.6.2. Berechnung der Streckenenergie

Die beim Schweißen durch den elektrischen Lichtbogen pro Längeneinheit eingebrachte Streckenenergie HI (Heat Input) berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$HI = 60 \times U \times I / S$$

HI = Streckenenergie [J/mm oder J/in]

U = Lichtbogenspannung [Volt]

I = Schweißstrom [Ampere]

S = Lineare Schweißgeschwindigkeit [mm/min oder in/min]

In der oben angegebenen Gleichung zur Berechnung der Streckenenergie wird allerdings die Art des Schweißverfahrens nicht berücksichtigt. Eine verfahrensbedingt anzusetzende Größe "r" erlaubt es, den Wärmeeintrag bei verschiedenen Schweißverfahren zu vergleichen:

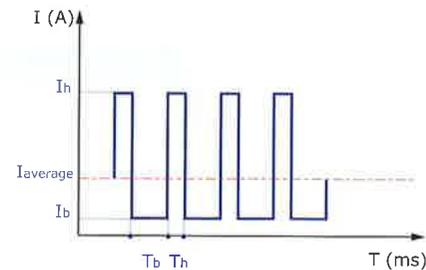
$$HI = 60 \times U \times I \times r / S$$

Gegeben sei ein Koeffizient r mit einem Wert von etwa 0,6 bis 0,8. Daraus geht hervor, dass 60% bis 80% der eingebrachten elektrischen Energie zum Aufheizen des Werkstücks aufgewendet werden, während 20% bis 40% den Strahlungsverlusten, dem Aufheizen der

Schweißwerkzeuge und des Schweißschutzgases usw. zuzurechnen sind.

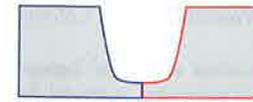
**Für Fachleute:** Bei gepulstem Schweißstrom wird der Durchschnittswert des Schweißstromes „I<sub>mittel</sub>“ nach folgender Formel berechnet:

$$I_{\text{mittel}} = (I_h \times T_h + I_b \times T_b) / (T_b + T_h)$$



I<sub>h</sub> Pulsstrom  
T<sub>h</sub> Pulszeit  
I<sub>b</sub> Grundstrom  
T<sub>b</sub> Grundstromzeit

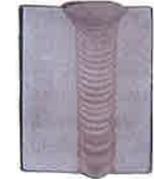
**Für Fachleute:** Beim Engspaltschweißen werden hohe Schrupfspannungen erzeugt. Das Verfahren eignet sich daher nicht für Werkstoffe, die zu Heißrissbildung neigen.



Standardnahtvorbereitung zum WIG-Orbitalschweißen



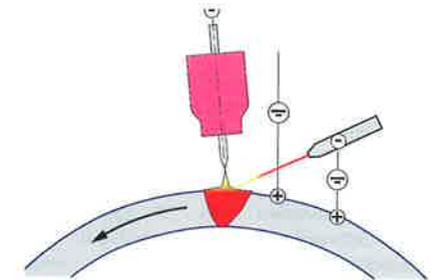
Nahtvorbereitung zum WIG-Engspaltschweißen



Makrographisches Schlibfbild einer Engspaltschweißnaht

### 15.10.2. WIG-Heißdrahtschweißtechnik

Eine beträchtliche Steigerung der Produktivität ohne Qualitätsverluste ist durch den Einsatz der WIG-Heißdrahttechnik möglich. Der Zusatzdraht wird in diesem Fall nicht alleine durch die vom Lichtbogen abgegebene Wärme aufgeschmolzen, er wird vielmehr durch den von einer zweiten Stromquelle abgegebenen Heißdrahtstrom gezielt vorgewärmt. Beim Heißdraht-Orbitalschweißen kann die Abschmelzleistung bis auf etwa 1 kg/h gesteigert werden. Beim Auftragschweißen liegt sie noch um ein Vielfaches höher.



Prinzip des WIG-Heißdrahtschweißens

### 15.10.3. WIG-Heißdraht-Engspaltschweißen

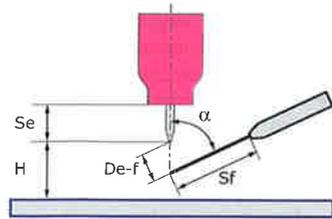


Der bedeutendste Zuwachs an Produktivität lässt sich naturgemäß bei der Kombination beider Verfahren erzielen: dem Heißdraht-Engspaltschweißen. Weltweit sind nur wenige Hersteller in der Lage, die äußerst anspruchsvolle technische Ausrüstung zur Verfügung zu stellen. Sie wird vornehmlich beim Fügen von Hochdruckrohren, im Hochtemperaturbereich fossiler und nuklearer Kraftwerke eingesetzt. Bei Polysoude ist es die Stromquelle PC 600-3, die zusammen mit einem Heavy Duty Orbitalschweißfahrwerk Polycar MP 200mm und einem speziellen Engspaltschweißschwert allen in diesem Zusammenhang gestellten Ansprüchen gerecht wird.

Polysoude WIG-Heißdraht-Engspaltschweißschwert

### 15.9. Justierung von Brenner und Schweißdraht

Die an dem Schweißbrenner und dem Zusatzdraht vorzunehmenden Einstellungen müssen besonders sorgfältig vorgenommen und dokumentiert werden.



**1** - Der Winkel  $\alpha$ , der von der Elektrodenachse und dem Zusatzdraht eingeschlossen wird, soll zwischen  $50^\circ$  und  $80^\circ$  einreguliert werden.

**2** - Der Abstand  $De-f$  zwischen Draht und Elektrode soll 1,5mm bis 3mm betragen. Bei der Wurzellage ist der größere Abstand zu wählen. Der Draht schmilzt dann nicht so schnell und seine verbleibende Steifheit kann zum Durchdrücken des Schweißbades genutzt

### 15.10. Leistungssteigerung beim WIG-Orbitalschweißen

WIG-Orbitalschweißen mit Kaltdrahtzusatz liefert bei Standardschweißaufgaben beste Ergebnisse, bei akzeptablen Einsatzbedingungen. Allerdings bleibt die Abschmelzleistung mit 0,15 bis 0,5kg/h weit unter dem Niveau

#### 15.10.1. Engspaltschweißen

Eine bedeutende Produktivitätssteigerung ist zu erreichen, wenn das Volumen der auszufüllenden Nahtfuge verringert wird. Die Engspalttechnik macht sich die nach Einbringen jeder Lage auftretende Schrumpfung zunutze. Die Breite am Grund der Schweißfuge ist so klein, dass ein Engspaltbrenner mit extrem flachem Design hineinpasst und eine Fülllage in Strichraupentechnik, d.h. eine Raupe pro Schweißlage, eingebracht werden kann. Die

werden, um die gewünschte Nahtüberhöhung im Rohrrinneren zu erhalten. Beim Einbringen von Füll- und Decklagen ist ein Abstand von 2mm anzustreben. Der Draht wird durch die Lichtbogennähe leichter aufgeschmolzen. Die zugeführte Drahtmenge kann erhöht werden und Fehler durch *kalten Draht* treten nicht auf.

**3** - Die freie Drahtlänge  $S_f$  sollte 8mm bis 12mm betragen. Ist diese Länge zu gering eingestellt, kommt die Drahtauslaufdüse dem Lichtbogen zu nahe, sie kann mit dem Draht verkleben oder ausglühen. Bei zu großer freier Drahtlänge wird der Draht nicht mehr sauber geführt. Er windet sich in alle Richtungen oder weicht aus und berührt und kontaminiert beispielsweise die Elektrode.

**4** - Die Distanz zwischen Elektrode und Werkstück sollte 2mm bis 3mm betragen und kann beim Schweißen einer Wurzellage bis auf 1 bis 2 mm zurückgenommen werden. Bei Anwendungen mit 6-Achsen-Anlage wird dieser Abstand nicht mechanisch eingestellt, sondern als Parameter bei der Lichtbogenhöhensteuerung programmiert (vgl. 11.5).

anderer Lichtbogenschweißprozesse. Durch den Einsatz der Heißdrahttechnik und des Engspaltverfahrens kann die Abschmelzleistung bedeutend gesteigert werden. Beide Prozesse lassen sich auch kombinieren.

Form der Schweißfuge ändert sich durch den Schrumpfvorgang so, dass für die jeweils nächste Strichraupe die gleichen Abmessungen vorgefunden werden. Es ergibt sich schließlich ein schrittweise entstandener Parallelspalt. Das Verfahren lohnt sich bei Rohrwandstärken ab 25mm. Im Querschnitt parallele Schweißnähte wurden bei Rohrwandstärken bis zu 250mm erfolgreich erzeugt.

## 4. Gründe für die Wahl des Orbitalschweißens

Es gibt zahlreiche Vorteile, die für die Wahl des mechanisierten oder automatisierten Orbitalschweißens sprechen: ökonomische, technische, organisatorische, terminliche... Von den Vorteilen, die das Orbitalschweißen in der industriellen Produktion mit sich bringt, sollen einige vorgestellt werden:

### 4.1. Deutliche Erhöhung der Produktivität gegenüber manuellem Schweißen

Mit Hilfe des WIG-Orbitalschweißens ist durch den mechanisierten oder automatisierten Prozess eine deutliche Erhöhung der Produktivität zu erzielen. Sowohl bei sich fortlaufend wiederholenden Tätigkeiten im Produktionsbereich als

auch bei anspruchsvoller Arbeitsorganisation auf der Baustelle werden die programmierten Arbeitsabläufe durch die Schweißausrüstung wiederholgenau reproduziert - Schweißfehler und Reparaturaufwand sinken auf ein Minimum.

### 4.2. Gleichmäßig hoher Qualitätsstandard der Schweißungen

Generell ist das mechanisierte Schweißen dem manuellen Prozess überlegen. Jede einmal erfolgreich durchgeführte und gespeicherte

Schweißsequenz lässt sich unendlich oft wiederholen, mit einem stets gleichbleibenden Ergebnis und praktisch ohne Schweißnahtfehler.

### 4.3. Qualifizierung des Bedienungspersonals

Gute Handschweißer sind auf dem Arbeitsmarkt schwer zu finden und haben ihren Preis. In der Metallverarbeitung ausgebildete Fachkräfte sind nach entsprechender Unterweisung in der Lage, Orbitalschweißmaschinen fachgerecht

zu bedienen und beste Schweißergebnisse zu erzielen. Der Einsatz mechanisierter oder automatisierter Schweißtechnik kann dazu beitragen, Personalkosten zu senken.

### 4.4. Einsatzbedingungen

Orbitalschweißen kann selbst bei rauen oder lebensfeindlichen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden. Ob das Personal durch schwer zugängliche Arbeitsbereiche, ein versperrtes Sichtfeld oder radioaktive Strahlung behindert

wird, sobald der Orbitalschweißkopf positioniert ist, kann die weitere Bedienung der Maschinen aus sicherer Entfernung erfolgen, oft unterstützt durch den Einsatz von Videokameras.

### 4.5. Zurückverfolgbarkeit / Qualitätsüberwachung

Moderne Orbitalschweißmaschinen verfügen über eine Echtzeitmessung und -anzeige der prozessrelevanten Parameterwerte, jede Schweißung wird vollständig protokolliert, als Datensatz gespeichert und wahlweise gedruckt.

Die hochentwickelte Datenerfassung läuft im Hintergrund ab. Der Datentransfer zu übergeordneten Qualitätssicherungssystemen erfolgt direkt, ohne Unterbrechung der laufenden Schweißprozesse.

## 5. Industriebereiche, in denen das WIG-Orbitalschweißen eingesetzt wird

### 5.1. Luft- und Raumfahrtindustrie

Die Luft- und Raumfahrtindustrie begann als erste das Orbitalschweißen in industriellem Umfang für sich zu nutzen. Zur Fertigstellung der Hydraulikleitungen eines einzigen Flugzeugs müssen mehr als 1.500 Schweißverbindungen realisiert werden. Es ist äußerst schwierig, diese Schweißungen an den kleinen, dünnwandigen Rohren manuell durchzuführen und dabei den

hohen Qualitätsanforderungen gerecht zu werden. Der sicherste Weg ist, Schweißprozeduren mit einer Orbitalschweißanlage zu testen und festzulegen. Während der Produktion werden die eingestellten Parameterwerte von den Schweißstromquellen genauestens reproduziert, die erreichte Qualität entspricht exakt derjenigen der zertifizierten Schweißproben.

### 5.2. Lebensmittel- und Getränkeindustrie

Bei der Verarbeitung von Lebensmitteln, Milchprodukten und Getränken ist eine strenge Erfüllung von Hygieneanforderungen notwendig. Die Schweißnähte der dort installierten Anlagen dürfen keine Krater, Poren, Risse oder Einbrandkerben aufweisen, denn in den entstandenen Toträumen verbleibende Produktreste fördern die Vermehrung von gefährlichen Keimen (z.B. Listerien). Vollkommen

glatte Rohrinneiten ermöglichen es, die Anlagen komplett zu reinigen und anschließend von Keimen zu befreien. Die Herstellung der kritischen Nähte durch Orbitalschweißen garantiert die Einhaltung der geforderten hohen Oberflächengüte. In den meisten technischen Ausführungsbestimmungen und Normen wird der Einsatz der Orbitaltechnik bereits zwingend vorgeschrieben.

### 5.3. Pharmaindustrie und Biotechnologie

Die Anlagen der Pharmaindustrie bestehen aus Rohren und Apparaten, in denen die Produkte hergestellt und weitergeleitet werden. Besonders kritisch sind die Leitungen zum Transport von Reinstdampf und Wasser, das zu Injektionszwecken bestimmt ist. Es wird in den lebenden menschlichen Organismus injiziert. Seine Herstellung und das Handling sind besonders hohen Hygienestandards unterworfen. Selbst geringste Korrosionsspuren sind absolut

unzulässig, daher darf die Korrosionsbeständigkeit der Rohre durch das Schweißen nicht beeinträchtigt werden, wie es durch partielles Überhitzen des Grundwerkstoffes geschehen kann. Mit Hilfe der Orbitaltechnik hergestellte Schweißverbindungen genügen nicht nur den Ansprüchen höchster Korrosionsbeständigkeit, die glatten Nahtoberflächen lassen sich auch passivieren.

und zeitintensiv, da die Schweißung muss nach jeder Tour des Brenners unterbrochen werden, um die entsprechenden mechanischen Einstellungen anzupassen. Die Brennerposition muss seitlich verstellt werden und die Entfernung zwischen Elektrode und Werkstück muss neu justiert werden. Damit notwendige Korrekturen durchgeführt werden können, müssen die Einstellelemente für den Bediener zugänglich sein (Platzverhältnisse, Hitze).

Durch Verwendung einer Schweißausrüstung mit 6 gesteuerten Achsen lässt sich das Mehrlagenschweißen wesentlich vereinfachen und verkürzen. Die AVC-Steuerung sorgt für die richtige

Lichtbogenlänge. Die Pendelung erlaubt es, die gesamte Schweißnahtbreite zu überdecken oder den Brenner seitlich zu positionieren oder in der Schweißfuge zu zentrieren. Bei entsprechender Ausstattung der Schweißausrüstung können die einzelnen Schweißzyklen einer Mehrlagenschweißung verkettet werden. Auch das zwischendurch notwendige Aufwickeln des Schlauchpakets kann automatisch erfolgen, so dass während des gesamten Schweißvorgangs keine Eingriffe seitens des Bedieners mehr notwendig sind. Er wird nun nicht mehr durch repetitive Tätigkeiten abgelenkt und kann sich ganz auf die Überwachung des Prozesses konzentrieren.

### 15.6. AVC-Einsatz erfordert präzise Elektrodengeometrie

Bei den für das automatisierte Schweißen vorgesehenen Wolframelektroden muss sichergestellt sein, dass sich keine Geometrieabweichungen ergeben. Selbst kleine Unterschiede der Kegelform oder Abplattung haben bedeutende Änderungen der Lichtbogenspannung zur Folge (vgl. 11.5.1), die wiederum als Grundlage für die Einstellung der Lichtbogenlänge dient. Mit

einer geänderten Lichtbogenlänge ergeben sich Unterschiede in Schweißbadvolumen und -form.

**Für Fachleute:** Bei einem langen Lichtbogen geht der auf das Schmelzbad ausgeübte Lichtbogendruck stark zurück, was zu mangelhafter Durchschweißung und Nahrückfall führt. Ein zu kurzer Lichtbogen hat eine drastische Verringerung der Standzeit der Wolframelektrode zur Folge.

### 15.7. Formiergas

Bei manuellem Schweißen von Baustahl ist ein Schutz der Rohrinneite durch Formiergas nicht unbedingt nötig, da das durch den Spalt am Grund der V-Nahtvorbereitung strömende Brennerschutzgas diese Funktion teilweise erfüllt. Beim Orbitalschweißen mit einer spaltlosen Tulpennahtvorbereitung wird das Rohrinne durch das Brennerschutzgas nicht erreicht. Es

wird dringend empfohlen, hier mit Formiergas zu arbeiten. Die Bildung von Galmei, die besonders bei Baustählen mit höherem Mangan- und Siliziumgehalt auftritt, kann dadurch unterbunden werden, was zu einer Verbesserung der Nahtqualität führt. Die für die verschiedenen Werkstoffe einsetzbaren Formiergase sind in Kapitel 3.5.2 aufgelistet.

### 15.8. Nicht programmierbare Parameter

Der Einfluss der Schweißparameter, die nicht direkt an der Maschine einstellbar sind, wird in der Orbitaltechnik oft unterschätzt. Als Folge ergeben sich fehlende Wiederholgenauigkeit, unzuverlässige Ergebnisse und niedrige Produktivität. Einige dieser Parameter sollen genannt werden:

- Brennerschutzgas: Typ, Reinheit und Durchfluss
- Formiergas: Typ, Reinheit und Durchfluss
- Gaslinse: Typ und Größe

- Keramikdüse: Größe, Durchmesser und Länge
- Elektrode: Typ, Durchmesser, Anschliff und Überstand
- Zusatzdraht: Typ und Durchmesser, Charge, Einlaufwinkel, Auftreffpunkt
- Startposition des Schweißbrenners
- Zwischenlagentemperatur
- Anschluss und Lage der Masseverbindungen.



Mobile Rohrendenfräsmaschine

Bei Rohren aus Baustahl müssen alle Verunreinigungen wie Rostspuren, Ölkohle oder Galmei restlos entfernt werden. Bei diesen Rohren ist die Außen- und die Innenseite spannend zu bearbeiten.

**Für Fachleute:** Magnetisierbare Werkstoffe

#### 15.4. Positionieren der Rohre

Vor dem Beginn des Orbitalschweißens müssen die Rohrenden positioniert und nötigenfalls durch Heftschweißungen fixiert werden. Bei einer Tulpennahtvorbereitung kann ein Versatz der Rohre (nach innen/außen) akzeptiert werden, solange er die halbe Lippendicke  $T$  nicht übersteigt. Um spätere Durchschweißfehler zu vermeiden, sollten die Heftpunkte nach Möglichkeit ohne Zusatzdraht angebracht werden. Ansonsten ist der Draht so sparsam wie möglich zu verwenden. Beim Heften ist

#### 15.5. Mehrlagenschweißen

Es gibt zwei Methoden mehrlagige Schweißungen einzubringen:

**1** - Bei einer Schweißausrüstung mit 4 gesteuerten Achsen ist das Strichraupenverfahren anzuwenden ①. In bestimmten Fällen wie bei einer Überlappnahtvorbereitung (2G bzw. PC) oder sogar bei einer 45° Positionierung der Rohre (6G bzw. H-LO45) wird auch dann die Strichraupentechnik angewendet, wenn eine Schweißausrüstung mit 6 gesteuerten Achsen zur Verfügung steht.

**2** - Bei 6 gesteuerten Achsen lässt sich der Brenner

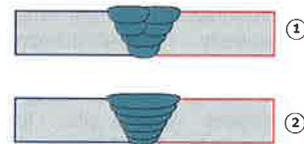


Werkstattausführung einer Maschine zur Schweißnahtvorbereitung

müssen auf vorhandene Magnetfelder geprüft werden: Remanenter Magnetismus sollte nicht vorhanden sein oder eine maximale Flussdichte (3 Gauß) nicht überschreiten, da ansonsten mit Schweißproblemen oder -fehlern (Blaswirkung, Bindefehler, Porenbildung) zu rechnen ist.

unbedingt darauf zu achten, dass sich zwischen den Rohrenden kein Luftspalt befindet.

Beim Heften und Schweißen korrosionsbeständiger Stähle, Nickelbasislegierungen sowie Titan und titanlegierten Werkstoffen ist die Verwendung von Formiergas unbedingt erforderlich. Baustähle lassen sich zwar ohne diesen Schutz schweißen, allerdings müssen dann eine geringere Wiederholgenauigkeit und eine höhere Reparaturrate in Kauf genommen werden.



Mehrlagenschweißung in Strichraupentechnik oder gependelt

in eine Pendelbewegung quer zur Schweißrichtung versetzen. Bei sehr breiten Schweißfugen muss auch bei der Pendeltechnik mit mehreren Durchgängen pro Lage durchgeführt werden.

Das Einbringen von Mehrlagenschweißungen mit der Strichraupentechnik ist relativ aufwändig

#### 5.4. Halbleiterindustrie

Zur Prozessgasversorgung bei der Fertigung von Halbleiterelementen werden elektropolierte Edelstahlrohre verlegt. Die meisten weisen einen Außendurchmesser von 6,3mm bei einer Wandstärke von 0,9mm auf. Das höchstreine Prozessgas darf beim Durchströmen der Rohre nicht durch Feuchtigkeit, Sauerstoff, Partikel oder andere Verunreinigungen kontaminiert werden. Die Akzeptanzkriterien für die Schweißarbeiten sind besonders eng gefasst: Nähte mit schlan-

ker Nahtwurzel (um die Schweißnahtoberfläche im Rohrinernen zu minimieren), vollständige Durchschweißung des Innendurchmessers, keine bleibenden Anlauffarben. Neben einem soliden Training muss das Bedienungspersonal präzise arbeiten und über eine erstklassige Schweißausrüstung verfügen, um den Qualitätsstandard der Schweißungen unter den oft widrigen Einsatzbedingungen auf der Baustelle erfüllen zu können.

#### 5.5. Chemische Industrie

Die Produktionsanlagen und Apparate der chemischen Industrie werden größtenteils durch Orbitalschweißen hergestellt. Die verwendeten Bauteile werden aus korrosions- und hitzebeständigen Werkstoffen wie Titan, Nickel, Chrom sowie entsprechenden Legierungen und Edelstählen gefertigt. Die Lebensdauer der Anlagen hängt direkt von der Qualität der eingebrachten Schweißungen ab. Automatisierung, strenge

Kontrollen und lückenlose Dokumentation der Schweißprozesse werden von Auftraggebern, Abnahmeorganisationen und Normen vorgeschrieben. Bei der Fertigung der Wärmetauscher geht es darum, hunderte von Rohren fehlerfrei in die zugehörigen Rohrböden einzuschweißen - ein Unterfangen, welches ohne den Einsatz der Orbitaltechnik kaum denkbar ist.

#### 5.6. Mit fossilen oder Kernbrennstoffen betriebene Kraftwerke

Um die Sicherheit von mit fossilen oder Kernbrennstoffen betriebenen Kraftwerken zu gewährleisten, werden alle Möglichkeiten der Orbitalschweißtechnik genutzt: Anschließen von Rohren und Nippeln mit geringem Durchmesser für Sensoren und Messgeräte, Herstellung von Wärmetauschern durch orbitales Rohr-Rohrbodenschweißen oder Fügen dickwan-

diger, druck- und temperaturbeständiger Rohre auf der Baustelle. Die Schweißaufsicht und -abnahme obliegt meistens behördlichen Stellen oder externen Organisationen. Die dazu notwendige Dokumentation und Rückverfolgbarkeit der Schweißnähte wird durch unauffällig im Hintergrund arbeitende Schweißdatenerfassungssysteme unterstützt.

## 6. Besonderheiten des Orbitalschweißens

### 6.1. Genormte Benennung der Schweißpositionen

Die Benennung der Schweißpositionen wird im ASME Kode (AWS), Sektion IX, und den EU-Normen EN 287/EN ISO 6947 spezifiziert, als Bezug dient die Lage des zu schweißenden Rohres.



### 6.2. Gepulster Schweißstrom

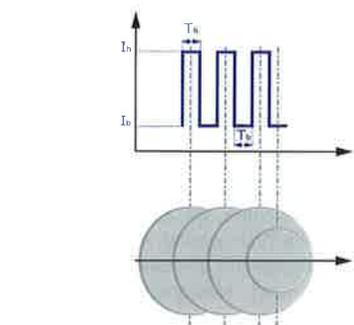
Die Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Orbitalschweißung ist die Beherrschung des schmelzflüssigen Schweißbads in den verschiedenen Zwangspositionen, die während eines Schweißzyklus durchlaufen werden. Bei einer Orbitalschweißung an einem Rohr in 5G Position (feststehendes Rohr) kommen u.A. die Stellungen PF/PG vor, in denen folgende Bedingungen eingehalten werden müssen:

- 1 - Kontinuierliche Änderung der Schweißposition und damit der Wirkung der Schwerkraft.
- 2 - Fortgesetzte Aufheizung des Werkstückes.

Als wirkungsvollste Methode zur perfekten Beherrschung des Schmelzbades hat sich der Einsatz eines gepulsten Schweißstromes erwiesen. Die Stromstärke schwankt dabei periodisch zwischen zwei Werten:

▶ Während der Zeitspanne  $T_h$  bleibt der Schweißstrom auf dem hohen Wert  $I_h$ . Durch die gesteigerte Energiezufuhr wächst das Volumen des Schmelzbades bis zur maximalen Größe.

▶ Während der Zeitspanne  $T_b$  bleibt die Schweißstromstärke auf einem niedrigeren Wert  $I_b$ , dabei kühlt das Schweißbad ab und sein Volumen verringert sich. Durch ein kleineres Schweißbad kann den unerwünschten Schwerkrafteinflüssen wirksamer begegnet werden.



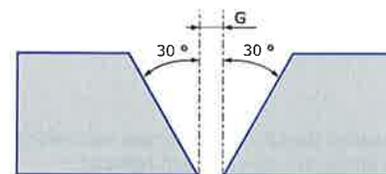
Ein gepulster Schweißstrom ist bei vielen Orbitalanwendungen vorteilhaft. Die genauen Werte der Schweißparameter lassen sich somit einfacher und schneller bestimmen. Bei sehr dickwandigen Rohren mit großem Durchmesser (Rohrwandstärke > 10 mm, Rohrdurchmesser > 114 mm) kann es allerdings vorkommen, dass während der Parameterermittlung das Niveau der niedrigen Stromstärke demjenigen des hohen Schweißstromes immer weiter angenähert werden. Unter Umständen können die Unterschiede der Stromstärken so gering werden, dass sich der Effekt eines ungepulsten Stromes einstellt.

Bei verminderter Zugänglichkeit der Schweißzone sollte eine Ausrüstung mit 4 gesteuerten Achsen bevorzugt werden. Wenn Wert auf schnelles Positionieren gelegt wird und häufige

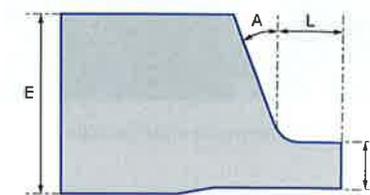
Werkzeugwechsel durchzuführen sind, ist die Schweißstromquelle mit 6 gesteuerten Achsen die bessere Wahl.

### 15.3. Schweißnahtvorbereitung

Die beim Handschweißen von Rohren, Bögen, T-Stücken und Flanschen übliche V-Nahtvorbereitung mit einem Spalt der Breite G ist aus verschiedenen Gründen für das Orbitalschweißen nicht geeignet (Beim WIG-Orbitalschweißen ist ein Spalt zwischen den Rohren grundsätzlich verboten. Heftschweißpunkte können nicht wieder aufgeschmolzen werden. Formiergasschutz ist nicht möglich, etc.).



Nahtvorbereitung für manuelles Rohrverbindungsschweißen



Empfohlene Nahtvorbereitung der Rohrenden für das WIG-Orbitalschweißen

Rohrgröße	Öffnungswinkel (°)	Steg (mm)	
Wandstärke (mm)	A	T	L
3 ≤ E ≤ 6	30°	1	2
6 ≤ E ≤ 10	30° ou 20°	1,5	
10 ≤ E ≤ 15	20°		

Wenn die V-Nahtvorbereitung ohne Spalt (G=0) erfolgt, müssen aus Gründen der Zugänglichkeit der Schweißstelle, große Öffnungswinkel zwischen 30° und 37° gewählt werden. Diese Geometrie der Schweißfuge führt allerdings beim Orbitalschweißen zu sehr ungleichmäßigen Ergebnissen. Positionsabhängig ist mit starkem Nahrückfall zu rechnen.

Eine gleichmäßige Nahtausbildung ist beim Orbitalschweißen durch eine Tulpennahtvorbereitung mit der Lippenbreite L und der Stärke T zu erreichen. Hinweise über die Abmessungen bewährter Tulpennahtvorbereitungen finden sich in der folgenden Tabelle.

**Für Fachleute:** Um die erforderlichen engen Toleranzen (zwischen ± 0,2 mm und 0,3 mm) der Stegdicke T einhalten zu können, werden die Rohre oft an der Innenseite bearbeitet.

Um die notwendige Genauigkeit bei der Nahtvorbereitung sicherzustellen, müssen mechanische Rohrendenbearbeitungsmaschinen eingesetzt werden. Zwei Typen werden auf dem Markt angeboten:

- Fest angeschlossene Maschinen zum Betrieb in der Werkstatt
- Elektrisch oder pneumatisch betriebene Rohrfräsmaschinen in tragbarer Ausführung zum mobilen Einsatz auf der Baustelle.

## 15. Rohr-Rohr-Orbitalschweißen mit Zusatzdraht

### 15.1. Anwendungsfälle

Es gibt verschiedene Gründe, dünnwandige Rohre mit Zusatzdraht zu verschweißen:

- Die zu verschweißenden Rohre bestehen aus unterschiedlichen Werkstoffen.
- Die Schweißnaht soll verstärkt werden.
- Die mechanische Festigkeit und/oder die Korrosionsbeständigkeit des Werkstoffes werden durch Schweißen ohne Zusatzdraht unzulässig gemindert.

Rohr-Rohrschweißanwendungen mit Zusatzdraht kommen häufig bei Anlagen zur Energiegewinnung und in der chemischen und petrochemischen Industrie vor.

Verschiedene Werkstoffe kommen hierbei zum Einsatz:

- Baustahl
- Niedriglegierte chrom- oder chrommanganhaltige Stähle
- Hochlegierte Chromnickelstähle (austenitisches Gefüge oder austenitisch-ferritisches Mischgefüge)
- Nickelbasislegierungen (beispielsweise Inconel®- oder Hastelloy®-Legierungen)
- Titan und seine Legierungen

Die Rohrabmessungen sind sehr unterschiedlich. Am häufigsten werden jedoch folgende Abmessungen verwendet:

- Rohrdurchmesser zwischen 26,9 mm und 219 mm ( $\frac{3}{4}$ " und 8")
- Wandstärken von 2,77 mm bis 12,7 mm

### 15.2. Wahl der Stromquelle

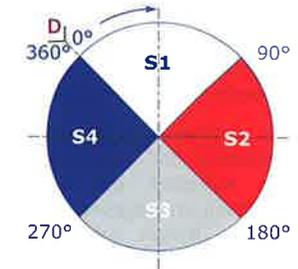
Zum Orbitalschweißen mit Zusatzdraht können Standardausrüstungen mit 4 gesteuerten Achsen (Schweißschutzgas, Schweißstrom, Brennerdrehbewegung und Drahtförderung) oder mit 6 gesteuerten Achsen (4 Achsen + AVC und Pendelung) eingesetzt werden.

Unabhängig von wirtschaftlichen oder projektbezogenen Randbedingungen (Verfügbarkeit, Erfahrung, Personal, Kosten, Termine, etc.) werden in der folgenden Tabelle technische Notwendigkeiten dargestellt:

Anwendung		Schweißausrüstung	
		4 Achsen	6 Achsen
Zu schweißende Wandstärke	dünn (< 4 mm)	+	+
	mittel und dick (> 4 mm)	-	+
Zugänglichkeit	vermindert	+	-
	frei	+	+
Schweißaufgabe	einfach	+	+
	schwierig	-	+
Automatisierungsgrad	niedrig	+	+
	hoch	-	+

### 6.3. Programmierung von Sektoren

In vielen Fällen reicht der alleinige Einsatz eines gepulsten Schweißstromes nicht aus, um beim Orbitalschweißen akzeptable Ergebnisse zu erzielen. Die Werte der Schweißparameter müssen in Abhängigkeit der verschiedenen Stellungen des Schweißbrenners beim Umrunden des Rohres verändert werden. Die Umlaufbahn wird daher in Abschnitte unterteilt, die *Sektoren*. Beim Erreichen eines neuen Sektors werden die Schweißparameterwerte der neuen Position angepasst.



Das Sektormodell wird an einem Kreis erläutert, der als Symbol für den Querschnitt des zu schweißenden Rohres dient. Der Kreis ist in 4 Sektoren unterteilt, die jeweils 90° umfassen. Der erste Sektor beginnt an der Startposition D der Orbitalschweißung, die sich in diesem Fall bei 10.30 h befindet, und endet bei 1.30 h. Jedem Sektor lässt sich eine bestimmte Schweißposition zuordnen:

- Sektor 1 von 0 bis 90° *Wannenlage*;
- Sektor 2 von 90 bis 180° *Fallnaht*;
- Sektor 3 von 180 bis 270° *Überkopfnah*;
- Sektor 4 von 270 bis 360° *Steignah*.

In jedem Sektor werden die Schweißparameter derart verändert, dass sie der Schweißposition und der Werkstücktemperatur Rechnung tragen. Bei realen Schweißzyklen werden die Sektorgrößen den jeweiligen Erfordernissen angepasst und sind nicht so regelmäßig wie im gezeigten Beispiel. Auch die Anzahl der Sektoren kann je nach Anwendung stark variieren.

## 7. Die Komponenten einer Orbitalschweißanlage

Unabhängig von den vorgesehenen Einsatzgebieten setzen sich alle Orbitalschweißanlagen aus bestimmten Grundgeräten zusammen:

- einer programmierbaren Schweißstromquelle mit einer Fernbedienung (extern oder in den Schweißkopf eingebaut);
- einem Schweißkopf;
- einer Drahtvorschubeinheit, wenn es die Anwendung erfordert.

Die sehr unterschiedliche Konstruktion der einzelnen Geräte mit vielfältigen Funktionen erlaubt es, für jeden Anwendungsbereich eine entsprechend ausgestattete Orbitalschweißanlage aufgabenspezifisch zusammenzustellen.



## 8. Programmierbare Schweißstromquellen

### 8.1. Gemeinsame Eigenschaften

Eine Orbitalschweißstromquelle ist aus einer Vielzahl von Komponenten zusammengesetzt, die jeweils bestimmte Funktionen bereitstellen:

- ▶ Ein oder mehrere Leistungseinheiten, die den Schweißstrom und gegebenenfalls den Strom zum Aufheizen des Zusatzdrahtes bei Heißdrahtanlagen abgeben. Dem aktuellen Stand der Technik entsprechend werden Stromquellenbausätze in Invertertechnik verwendet.
- ▶ Eine programmierbare Steuereinheit auf Mikroprozessorbasis oder mit externem PC.
- ▶ Eine Kühleinrichtung für den Schweißbrenner und gegebenenfalls für die Schweiß- und Spannwerkzeuge.
- ▶ Eine Schweißdatenerfassungsanlage zur Anzeige der aktuellen Schweißparameterwerte und zum Ermöglichen der Rückverfolgbarkeit jeder Schweißung.
- Entsprechend ihrer Größe, ihrem Gewicht und ihrer Ausstattung lassen sich die Orbitalschweißstromquellen generell in drei Gruppen einteilen.

### 8.2. Tragbare Orbitalschweißstromquellen

Größe und Gewicht der tragbaren Orbitalschweißstromquellen sind begrenzt, da sie von ihrem Bediener zum Einsatzort getragen werden und auf der Baustelle durch enge Mannlöcher passen müssen.

Bei einem Eigengewicht von weniger als 30 kg liefert die kleinste Orbitalstromquelle Schweißströme von bis zu 160 Ampere.

Sie wird einphasig mit 230 Volt gespeist. Die Programmierung und Entwicklung der Schweißdaten erfolgt über eine intuitiv zu bedienende, graphische Benutzeroberfläche und eine alle Funktionen unterstützende Fernbedienung.

Die Schweißzyklen, Programme und Parameter können bequem verwaltet werden. Die Sektorprogrammierung wird unterstützt.



Polysoude Orbitalschweißstromquelle PS 164-2



Polysoude Orbitalschweißstromquelle P4

## 14.6. Formiergas

Beim Orbitalschweißen muss auch die Innenseite der Rohre und der Schweißnaht vor Oxidation geschützt werden. Dazu lässt man ein so genanntes Formiergas durch das Rohrsystem strömen, dessen Reinheitsgrad von der geforderten Schweißnahtqualität abhängt. Die Dauer der Spülung und die Formiergasmenge müssen so gewählt werden, dass sich bei dem Beginn der Schweißarbeiten kein Restsauerstoff mehr im Rohrsystem befindet. Der Restsauerstoffgehalt wird an der Austrittsöffnung des Formiergases gemessen. Bei UHP-Anwendungen (Ultra High Purity) muss er unter 10 PPM (Parts Per Million) absinken, das bedeutet weniger als 0,001 % Sauerstoffanteil.

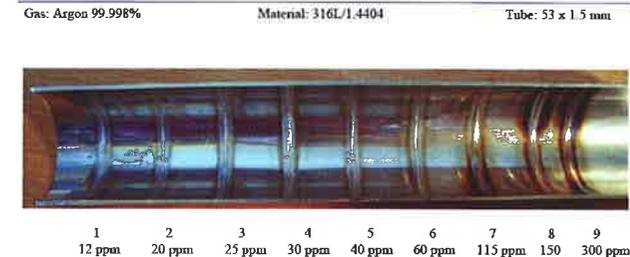
**Für Fachleute:** Bei UHP-Anlagen muss das ultrareine Prozessgas die so geschweißten Rohrleitungen durchströmen, ohne Verunrei-

nungen, wie Feuchtigkeit, Sauerstoff oder Partikel aufzunehmen.

Beim Schweißen müssen die festgelegten Formiergas mengen und Innendrucke genau eingehalten werden. Ein zu großer Rohrrinnendruck führt zu unzulässigen Nahtüberhöhungen oder bläst im ungünstigsten Fall das Schweißbad aus.

Der Innendruck kann allerdings auch genutzt werden, um ein Durchhängen der Nahtwurzel zu verhindern und unzulässigen Querschnittsverengungen in Rohren mit kleinen Durchmessern (unter 3/8" / 9,52 mm) entgegen-zuwirken.

**Für Fachleute:** Leichte Anlauffarben lassen sich durch Passivieren beseitigen.



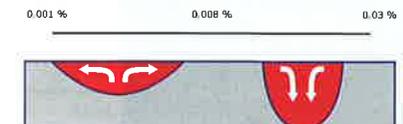
Einfluss des Sauerstoffgehalts im Formiergas auf die Anlauffarben im Wurzelbereich

## 14.7. Schweißbarkeit und Schwefelgehalt des Stahls

Beim Schweißen von korrosionsbeständigen Stählen auftretende Probleme hängen in einigen Fällen mit dem Schwefelgehalt der Werkstoffe zusammen. Der Schwefelgehalt beeinflusst die Oberflächenspannung des geschmolzenen Metalls, hohe Schwefelanteile machen sich durch schmale Schweißnähte mit tiefem Einbrand bemerkbar. Sehr niedrige Schwefelgehalte führen zu breiten, flachen Schweißnähten mit drastisch reduzierter oder völlig fehlender Durchschweißung. Ein Phänomen, das mit dem Marangoni-Effekt erklärt werden kann.

Wenn ein Werkstück mit sehr niedrigem Schwefelgehalt mit einem zweiten mit hohem

Schwefelanteil verbunden werden soll, kann der Lichtbogen sehr stark zu dem Teil mit dem niedrigen Schwefelanteil hingelenkt werden, dass eine einwandfreie Schweißung auf normalem Weg nicht mehr möglich ist. Abhilfe lässt sich eventuell schaffen, indem zwei Lagen ohne Unterbrechung sehr schnell hintereinander geschweißt werden.



Einfluss des Schwefelanteils in der Legierung auf das Schweißbad

### 14.5. Elektrodenvorbereitung

Um die gleichmäßige Ausbildung eines kompakten Lichtbogens sicherzustellen, werden die zum WIG-Orbitalschweißen eingesetzten Wolframelektroden am Ende angespitzt. Der Elektrodendurchmesser, der Anschliffwinkel A und der Durchmesser M der Fläche an der Spitze hängen von der Schweißstromstärke ab. Der Anschliffwinkel A liegt zwischen 18° und 30°. Der Durchmesser der Abplattung M soll zwischen 0,1mm und 0,5mm betragen. Höhere Schweißstromstärken erfordern größere Anschliffwinkel und Abplattungsdurchmesser.

Die Elektrodenlänge muss in Abhängigkeit des Schweißkopfes, des Rohraußendurchmessers und der festgelegten Lichtbogenlänge berechnet werden. Die Elektrode ist dann passend abzulängen. In vielen Fällen ist es schwierig, die Elektroden auf der Baustelle mit der erforderlichen Genauigkeit vorzubereiten, selbst wenn dazu ein Elektrodenschleifgerät zur Verfügung steht. Der Kauf fertig vorbereitet angebotener Elektroden wird daher als effiziente und ökonomisch vertretbare Lösung angesehen.

**Für Fachleute:** Das Wechseln der Wolframelektroden sollte stets präventiv erfolgen. Dadurch lässt sich eine Vielzahl von Schweiß-



Elektrodenvorbereitung

problemen und -fehlern (mangelnde Lichtbogenstabilität, Zündschwierigkeiten) bereits im Vorfeld vermeiden. Bei besonders anspruchsvollen Schweißaufgaben kann es ratsam sein, die Elektrode vor jeder Schweißung zu wechseln.

Elektroden- durchmesser		Gleichstrom (A)		Wechselstrom (A)
		Elektrode negativ DCEN	Elektrode positiv DCEP	Symmetrische Amplitude
0,020"	0,05 mm	5-20		10-20
0,04"	1,0 mm	15-80		20-30
1/16"	1,6 mm	70-150	10-20	30-80
3/32"	2,4 mm	150-250	15-30	60-130
1/8"	3,2 mm	250-400	25-40	100-180
5/32"	4,0 mm	400-500	40-55	160-240
3/16"	4,8 mm	500-750	55-80	190-300
1/4"	6,4 mm	750-1100	80-125	325-450

Empfohlene Elektrodendurchmesser bei unterschiedlichen Schweißströmen

Die Stromquellen dieser Baureihen sind zur Steuerung von 4 Achsen ausgelegt. Dementsprechend können vier Einheiten programmiert und überwacht werden: der Schutzgasfluss, die Schweißströme, die Schweißgeschwindigkeit sowie die Drahtvorschubfunktionen. Eine Kühleinrichtung zum Betrieb wassergekühlter Schweißköpfe und Schweißwerkzeuge ist ebenfalls vorhanden. Eine kürzlich auf den Markt gebrachte Orbital-schweißstromquelle erlaubt den direkten Zugriff auf passende Schweißprogramme, wenn die Abmessungen und der Grundwerkstoff der

zu schweißenden Rohre über einen taktilen (berührungsgesteuerten) Bildschirm oder einen PC eingegeben werden. Als Ergebnis einer internen Datenbankrecherche wird ein gespeicherter Schweißzyklus vorgeschlagen oder eine Parameterberechnung vorgenommen. Eine anschließende Optimierung wird durch den eingebauten Schweißassistenten unterstützt.

Die Schweißstromquelle entlastet das Bedienpersonal, indem sie angeschlossene periphere Geräte selbständig erkennt und identifiziert (Plug and Play). Sie stellt sich selbständig auf unterschiedliche Netzspannungen ein.

### 8.3. Mobile Orbitalschweißstromquellen für den Einsatz in der Vorfertigung

Die Schweißstromquellen werden an dreiphasigen 415 Volt Netzen betrieben oder lassen sich auf unterschiedliche Versorgungsspannungen einstellen. Sie liefern Schweißstromstärken bis zu 540 Ampere. Die Kommunikation mit dem Schweißer erfolgt über eine einfach zu bedienende Mensch-Maschine-Schnittstelle und eine Multifunktions-Fernbedienung.

Die Stromquellen dieser Baureihen sind zur

Steuerung von 6 Achsen ausgelegt. Sechs Einheiten können somit programmiert und überwacht werden: Schutzgasfluss, Schweißströme, Schweißgeschwindigkeit, Drahtvorschubfunktionen, Lichtbogenhöhensteuerung und Pendelung.

Die Mobilität dieser größeren Art von Stromquellen bleibt durch die am Boden angebrachten Gummiräder gewährleistet.



Polysoude Orbitalschweißstromquelle P6 CW



Polysoude Orbitalschweißstromquelle P6 HW

## 8.4. Modulare Orbitalschweißstromquellen

Die Ausstattung der modularen Schweißstromquellen kann so gewählt werden, dass sie dem Anforderungsprofil der vorgesehenen Schweißaufgaben exakt entspricht. Je nach Modell werden Schweißstromstärken von 300 Ampere bis 550 Ampere erreicht. Die Maschinen werden an dreiphasigen 415V Netzen betrieben oder lassen sich auf unterschiedliche Versorgungsspannungen einstellen. Die Programmierung erfolgt mit einem PC und interaktiver Software. Über eine vollausgestattete Fernbedienung kann der Schweißzyklus direkt beeinflusst werden.

Modulare Orbitalschweißstromquellen sind zur Steuerung von 6 Achsen oder mehr ausgelegt. Mindestens sechs Einheiten können programmiert und überwacht werden: Schutzgasfluss, Schweißströme, Schweißgeschwindigkeit, Drahtvorschubfunktionen, Lichtbogenhöhensteuerung und Pendelung. Wenn nötig, wird die Bereitstellung des separaten Heißdrahtstroms durch eine weitere eingebaute Stromquelle übernommen.

Weitere Achsen können je nach Notwendigkeit zu einem späteren Zeitpunkt hinzugefügt werden. Die dafür benötigten Einschübe werden an der Frontseite der Maschine an leeren Steckplätzen angebracht.

Mit diesen zusätzlichen Achsen lassen sich periphere oder externe Einheiten steuern (Drahtvorschubgeräte, Schweißdatenerfassungssysteme, Kühlaggregate, etc.). Die Achsen können mit Ein- und Ausgängen versehen werden, deren Funktionen sich vollständig vom Kunden programmieren lassen.

Die Programmierung der Schweißstromquellen kann mit Hilfe eines PCs und leicht verständlicher, auf Windows® basierender Software, online oder offline durchgeführt werden. Der Ablauf des Schweißzyklus kann dabei völlig frei gestaltet werden. Die einzigen Einschränkungen werden durch die physikalischen Grenzen der Anlage gesetzt.



Polysoude Orbitalschweißstromquelle PC 600-3

## 9. Orbitalschweißköpfe

### 9.1. Orbitalschweißköpfe zum Rohr-an-Rohr Schweißen

#### 9.1.1. Geschlossene Orbitalschweißköpfe

Geschlossene Schweißköpfe werden zum Fügen von Rohren ohne Zusatzdraht eingesetzt. Mit den verschiedenen Schweißkopftypen lassen sich Rohrdurchmesser von 1,6mm bis 168mm (ANSI 1/16" bis 6") überdecken. Neben den korrosionsbeständigen Stählen werden besonders oxidationsempfindliche Werkstoffe wie Titan, Zirkon und deren Legierungen mit ausgezeichneten Ergebnissen geschweißt.

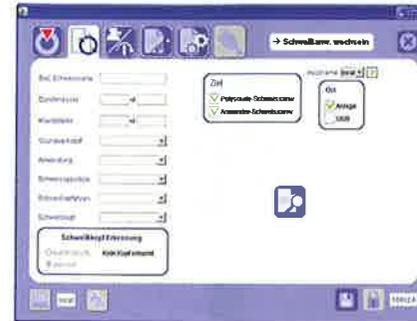
Je nach Anwendungsfall werden zum Spannen der Köpfe ein oder zwei Paar der austauschbaren Spannschalen (TCI Tube Clamping Inserts) eingesetzt.



Geschlossener Orbitalschweißkopf des Typs Polysoude MW

## 14.3. Berechnung von Schweißparameterwerten

Die Parameterwerte von Orbitalschweißungen an dünnwandigen Rohren ohne Zusatzdraht



Menü zur Suche vorhandener Schweißanweisungen oder berechneter Parameterwerte

lassen sich durch Berechnung ermitteln. Die Berechnungen basieren auf Formeln, die für die Stähle der 300er Serien aufgestellt wurden (z.B. 316L). Die Ergebnisse lassen sich allerdings auf andere Werkstoffe übertragen. Kürzlich auf dem Markt erschienene Schweißstromquellen, wie die P4 und P6 greifen auf Software zur Berechnung von Schweißparameterwerten zurück, wenn in der eingebauten Schweißdatenbibliothek kein ähnlicher Anwendungsfall gefunden wird.

Selbstverständlich muss die Gültigkeit der so ermittelten Daten durch Probeschweißungen bestätigt werden, denn Werkstoffe mit der gleichen Bezeichnung und nominellen Zusammensetzung können zu höchst unterschiedlichen Schweißergebnissen führen (vgl. Kapitel 14.7 Schweißbarkeit und Schwefelgehalt des Stahls).

## 14.4. Schweißnahtvorbereitung

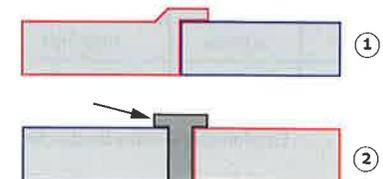
WIG-Orbitalschweißen ohne Zusatzdraht erfordert präzise und winklig abgerichtete Rohrenden. Um die notwendige Genauigkeit sicherzustellen, sollte die Bearbeitung der Rohre mit speziell dafür vorgesehenen Fräsmaschinen erfolgen. Grate und Späne müssen sorgfältig entfernt werden, beim Positionieren der Rohrenden darf sich kein Spalt bilden. Fett, Farbe, Kühlschmiermittel und andere Verunreinigungen müssen im Bereich der Schweißzone vollständig entfernt werden.

Bevor der Schweißvorgang begonnen werden kann, müssen die Rohrenden oft fluchtend ausgerichtet und durch Heftpunkte fixiert werden. Um Anlauffarben oder Oxidation im Inneren der Rohre zu vermeiden, muss beim Heftschweißen mit Formiergas gearbeitet werden. Die hohe Schmelztemperatur der sonst entstehenden Chromoxide könnte bei der endgültigen Schweißung zu Bindefehlern führen.

Der Durchmesser der Heftschweißpunkte muss kleiner als die spätere Nahtbreite gehalten werden. Um ein vollständiges Aufschmelzen der Heftpunkte beim Überschweißen zu gewährleisten, sollte das Heften ohne Draht durchgeführt werden.

Im Rohrinernen anzubringende Spannvorrichtungen können das Positionieren und Schweißen erleichtern. Oft sind sie mit Hilfseinrichtungen zum gezielten Ausströmen des Formiergases kombiniert. Speziell beim Schweißen von SMS-Fittings in Anlagen zur Lebensmittelverarbeitung haben sich derartige Vorrichtungen bewährt

**Für Fachleute:** Um den Nahtquerschnitt beim Schweißen ohne Zusatzdraht zu vergrößern, kann eine Werkstückvorbereitung mit überlappendem Kragen ① gewählt werden, der gleichzeitig als Positionierhilfe wirkt. Es kann auch ein Formstück ② eingelegt werden. Bei entsprechender Wahl seines Werkstoffes können auf diese Weise sogar unterschiedliche Metalle verschweißt werden.



### 14.2.2. Geschlossene Orbital-schweißköpfe des Typs MW

Geschlossene Orbital-schweißköpfe der Typenreihe MW werden zum Fügen von Rohren mit Außendurchmessern zwischen 6mm und 115mm gebraucht. Das Schweißen erfolgt ohne Zusatzdraht. Auf Grund ihrer geschlossenen Bauweise lassen sich mit diesen Köpfen ausgezeichnete Schweißergebnisse erzielen. Die Kühlung und die Verwendung hochwärmebeständiger Werkstoffe erlaubt eine beträchtliche Steigerung der Produktivität. Ein einfaches und schnelles Handling wird durch die direkt im Griff untergebrachten Bedienungsknöpfe unterstützt. Zum Schweißen von Fittings und Passstücken mit kurzem Überstand wird spezielles Zubehör, mit außermittiger Elektrodenanordnung angeboten.



Geschlossener Orbital-schweißkopf des Typs Polysoude MW

### 14.2.3. Offene Orbital-schweißköpfe



Offener Orbital-schweißkopf des Typs Polysoude MU

Offene Orbital-schweißköpfe können zum Fügen mit und ohne Zusatzdraht verwendet werden. Zwei bedeutende Unterschiede zu den geschlossenen Schweißköpfen sollen hier noch einmal herausgestellt werden:

- ▶ Die Gasabdeckung schützt nicht die gesamte Schweißnaht, sondern nur einen begrenzten Bereich um den Schweißbrenner herum. Das sollte beim Schweißen von sehr sauerstoffempfindlichen Metallen und Legierungen beachtet werden.
- ▶ Die zum Positionieren notwendige freie Rohrlänge ist bei offenen Schweißköpfen sehr viel größer, als bei den geschlossenen Typen.

### 9.1.2. Offene U-förmige Orbital-schweißköpfe

Offene Orbital-schweißköpfe sind für das Schweißen mit oder ohne Zusatzdraht geeignet. Der bearbeitbare Rohrdurchmesserbereich liegt zwischen 8mm und 275mm (ANSI 5/16" bis 11").

Offene U-förmige Orbital-schweißköpfe sind mit einem Schweißbrenner mit Gaslinse ausgerüstet. Eine gute Abdeckung durch das ausströmende Schutzgas wird nur in einem bestimmten Bereich um den Brenner herum erreicht. Der Schweißer kann den Lichtbogen während des Schweißens beobachten und den Prozess kontrollieren. Der asymmetrische Aufbau der Schweißköpfe erlaubt es, in sehr dichtem Abstand zu Trennwänden oder Rohrbögen zu schweißen.

Das Positionieren des Brenners kann manuell oder mit motorisch angetriebenen Schlitten erfolgen (Lichtbogenhöhensteuerung und Pendelung).



Offener Orbital-schweißkopf des Typs Polysoude MU

### 9.1.3. Orbital-schweißfahrwerke

Orbital-schweißfahrwerke werden auf besonderen Stahlschienen geführt, die auf Rohren ab einem Durchmesser von 114mm (3 1/2") montiert werden können. Die Wandstärken der betreffenden Rohre sind so groß, dass



Orbital-schweißfahrwerk des Typs Polysoude Polycar

stets mehrlagig geschweißt werden muss. Die Schweißfahrwerke müssen robust genug sein, um die notwendigen Zusatzaggregate tragen zu können: einen *Heavy Duty* Antriebsmotor, einen Schweißbrenner in schwerer Ausführung, einen AVC- und Pendelschlitten, sowie ein Drahtvorschubgerät mit 5kg Drahtspulen. Zusätzlich kann eine Videoausrüstung zur Überwachung und Dokumentation der Schweißungen montiert werden.

Die Orbital-schweißfahrwerke werden anwendungsabhängig entweder mit einem WIG-Schweißbrenner mit Gaslinse ausgerüstet oder tragen ein Engspaltschwert, das einen den gekammerten Orbital-schweißköpfen vergleichbaren Gasschutz bietet.

## 9.2. Orbitalschweißköpfe für das Rohr-Rohrbodenschweißen

### 9.2.1. Geschlossene Orbitalschweißköpfe für das Rohr- Rohrbodenschweißen ohne Zusatzdraht

Geschlossene Orbitalschweißköpfe sind zum WIG- (GTAW) Rohr-Rohrbodenschweißen ohne Zusatzdraht konstruiert. Die Schweißköpfe können zum Einschweißen bündiger oder leicht überstehender Rohre mit Innendurchmessern zwischen 9,5 mm (3/8") und 33,7 mm (1 1/3") verwendet werden.

Die Schweißungen finden in einer geschlossenen, mit Inertgas gefüllten Kammer statt, die der Naht einen ausgezeichneten Schutz gegen Oxidation bietet.

Zum Spannen der Köpfe wird in das zu schweißende Rohr ein mechanisch aufweitbarer Spann- und Zentrierdorn eingeführt.

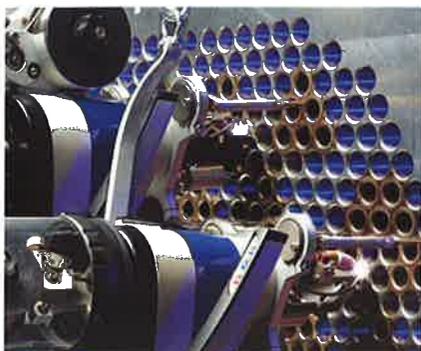
Wenn an der Vorderseite des Schweißkopfes eine Schweißlanze angebracht wird, sind Innenrohrschweißungen bei Rohrdurchmessern zwischen 10 mm und 33,7 mm (13/32" und 1 1/3") möglich.



Rohr-Rohrbodenschweißkopf Polysoude TS 34

### 9.2.2. Offene Orbitalschweißköpfe für das Rohr-Rohrbodenschweißen mit oder ohne Zusatzdraht

Mit offenen Orbitalschweißköpfen lässt sich das ganze Spektrum möglicher Rohrabmessungen von Innendurchmessern ab 10 mm (13/32") bis zu maximalen Außendurchmessern von 60 mm überdecken. Ein WIG-Brenner wird um



Rohr-Rohrbodenschweißkopf Polysoude TS 8/75

die überstehend, bündig oder zurückgesetzt im Rohrboden positionierten Rohrenden geführt.

Die offenen Orbitalschweißköpfe sind mit einem Schweißbrenner mit Gaslinse ausgerüstet. Eine gute Abdeckung durch das ausströmende Schutzgas wird nur in einem bestimmten Bereich um den Brenner herum erreicht. Beim Schweißen sauerstoffempfindlicher Grundwerkstoffe kann ein verbesserter Schutz durch Anbringen einer Schutzgasglocke erreicht werden.

Die Schweißköpfe können mit einer integrierten Drahtvorschubeinheit ausgerüstet werden. Durch ein pneumatisches Spannsystem wird der Schweißkopf selbsttätig in Position gehalten, auf diese Weise kann ein Schweißer gleichzeitig mit mehreren Köpfen arbeiten. Mit Schweißlanzen können spaltlose Innenrohrschweißungen hinter dem Rohrboden oder sogar bei doppeltem Rohrboden eingebracht werden.

## 14.2. Ausrüstung

Bei den meisten Anwendungsgebieten werden Schweißstromquellen der Typen PS 164-2 oder P4, zusammen mit geschlossenen Orbitalschweißköpfen eingesetzt. Die geschlossenen Orbitalschweißköpfe lassen sich anwendungsabhängig in zwei Gruppen untergliedern.



Polysoude Orbitalschweißstromquelle P4 mit einem Schweißkopf des Typs MW

### 14.2.1. Geschlossene Orbitalschweißköpfe des Typs UHP



Geschlossener Orbitalschweißkopf Polysoude UHP 500-2

Die besonders kompakte Modulbauweise der geschlossenen Orbitalschweißköpfe des Typs UHP mit sehr kleinen radialen und axialen Abmessungen, ermöglicht das Positionieren auf Rohren mit geringem Durchmesser, selbst bei äußerst beengten Platzverhältnissen. Ein Griffstück mit eingebautem Antriebsmotor passt an drei Module unterschiedlicher Größe: UHP 250-2 für Rohraußendurchmesser von max. 6,35 mm (1/4"), UHP 500-2 für Durchmesser von 12,7 mm (1/2") und UHP 1500-2 für Durchmesser von 33,7 mm (1 1/3"). Ein Kassettenspannsystem erlaubt das separate Vorbereiten der Werkstücke, das motorisierte Griffteil wird nur während des eigentlichen Schweißvorgangs angesetzt.

Die Spannkassetten aus Titan erlauben in Verbindung mit flexiblen Spanneinsätzen (Tube Clamp Inserts TCI) ein schonendes und sicheres Spannen der Köpfe auf genormten Rohrdurchmessern, wie sie bei der Halbleiterfertigung und bei Reinstgasversorgungsanlagen Anwendung finden. Durch den unsymmetrischen Aufbau der Schweißköpfe sind auch Fittings mit sehr kurzem Überstand zugänglich. Der Einsatz von Spannblöcken wird empfohlen, wenn Mikrofittings zentriert, ausgerichtet und verschweißt werden sollen.

Das Design der geschlossenen Orbitalschweißköpfe des Typs UHP wurde speziell auf die Anforderungen der Reinraumtechnik zugeschnitten. Das Schweißschutzgas im Inneren der Köpfe beispielsweise, strömt nicht an den Zahnrädern des Getriebes vorbei, es ist stattdessen ein gesonderter Gaskanal vorhanden, durch den es partikelfrei bis zur Schweißstelle geleitet wird.

### 13.3. Externes Schweißdatenerfassungssystem

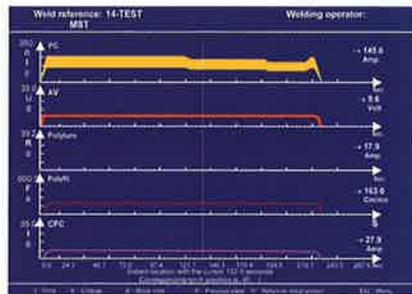
Bei Orbitalschweißstromquellen der PC-Baureihe wird das Schweißdatenerfassungssystem nicht eingebaut, sondern ist als Polysoude RECORDING SYSTEM mit Programmen der Firma DASyLab®, als extern angeordnete Messeinheit auf dem Markt. Die DASyLab® Software ist speziell zur Messdatenerfassung, -analyse und Echtzeitsteuerung entwickelt worden.

Die Werte des Schweißstromes, der Lichtbogenspannung, der Schweiß- und Drahtvorschubgeschwindigkeit und gegebenenfalls des Heißdrahtstromes werden mit einer Frequenz von 200 Hz aufgenommen. Das System startet selbständig zu Beginn des Schweißzyklus. Die Daten werden auf der Festplatte des PC abgelegt. Die Dateien werden mit einem Code gekennzeichnet, der auch das Datum und die Uhrzeit beinhaltet.

Der Schweißfortschritt wird überwacht und in Form einer Graphik auf dem Monitor des PC dargestellt.

Das Schweißdatenerfassungssystem erlaubt es, Grenzwerte für die verschiedenen Schweißparameter festzulegen. Die aktuellen Messwerte

werden in diesem Fall fortlaufend mit den Werten einer fehlerfreien Musterschweißung verglichen. Im **passiven Modus** wechselt der angezeigte Graph auf dem Monitor die Farbe, sobald ein Grenzwert erreicht oder überschritten wird. Im **aktiven Modus** wird der Schweißzyklus beim Überschreiten der entsprechenden Grenzwerte automatisch abgebrochen.



Graphische Darstellung eines Schweißzyklus mit dem Polysoude Schweißdatenerfassungssystem

## 14. Rohr-Rohrschweißen ohne Zusatzdraht

### 14.1. Anwendungsgebiete

Das Einschweißen dünnwandiger Rohre ohne Zusatzmaterial hat ein breites Anwendungsspektrum: Halbleiterfertigung, biochemischer Apparatebau, Mess- und Regeltechnik, Nahrungsmittel- und Getränkeverarbeitung, Herstellung pharmazeutischer Produkte, Handling chemischer und steriler Substanzen, Luft- und Raumfahrtsausrüstung.

Die Rohre sind meistens aus korrosionsbeständigem Stahl hergestellt, aber auch Nickelbasiswerkstoffe sowie Titan und seine Legierungen werden benutzt. Der Durchmesserbereich der Rohre liegt zwischen 1,6 mm und 170 mm bei Wandstärken von 0,2 mm bis 3,2 mm.

## 10. Drahtvorschubgeräte

Drahtvorschubgeräte können in den Schweißkopf eingebaut werden oder als externe Einheiten ausgeführt sein. Die Auswahl des Drahtvorschubgerätes hängt davon ab, auf welchen Spulen der zu verwendende Schweißzusatzdraht erhältlich ist. Des Weiteren ist den spezifischen Anforderungen der Anwendung, sowie etwaigen Zugangsproblemen und der erforderlichen Mobilität der Ausrüstung Rechnung zu tragen.

wendende Schweißzusatzdraht erhältlich ist. Des Weiteren ist den spezifischen Anforderungen der Anwendung, sowie etwaigen Zugangsproblemen und der erforderlichen Mobilität der Ausrüstung Rechnung zu tragen.



Integrierte Drahtvorschubeinheit bei einem Polysoude Schweißkopf TS 8/75



Externes Drahtvorschubgerät Polysoude Polyfil-3

## 11. Steuerungsfunktionen einer Orbitalschweißanlage

### 11.1. Schutzgassteuerung



Schutzgassteuerungsfunktion – Synoptiktafel einer MMS der P4-P6 Serien der Polysoude Orbitalschweißstromquellen

Es gibt drei Möglichkeiten, die Schutzgasversorgung einer Orbitalschweißanlage zu steuern:

**1** - Ein manuell einstellbares Druckminderventil mit Durchflussmengenregulierung befindet sich am Ausgang der Gasversorgung (Gasflasche oder Versorgungsnetz). Ein programmierbares Ventil in der Stromquelle erlaubt die Freigabe oder Unterbrechung des Gasflusses (PS 164-2, P4).

**2** - Ein manuell einstellbares Druckminderventil befindet sich am Ausgang der Gasversorgung (Gasflasche oder Versorgungsnetz), ein programmierbares Ventil in der Stromquelle erlaubt die Freigabe oder Unterbrechung des Gasflusses; die Gasmenge wird manuell mit Hilfe eines an der Stromquelle angebrachten

Schwebekörperdurchflussmengenmessers reguliert (Stromquellen der PC-Baureihe).

**3** - Ein manuell einstellbares Druckminderventil befindet sich am Ausgang der Gasversorgung (Gasflasche oder Versorgungsnetz), eine programmierbare elektronische Vorrichtung in der Stromquelle erlaubt die Freigabe oder Unterbrechung des Gasflusses und die kontinuierliche Regelung der Gasmenge (Stromquellen der PC-Baureihe).

Orbitalschweißstromquellen können im Allgemeinen zur Steuerung von bis zu vier Schutzgasen ausgestattet werden: zwei Schweißschutzgase und zwei zusätzliche Gase (z.B. Formiergas und Schleppschutzgas).

Die sogenannte Bigas-Funktion erlaubt es,

den Typ des Brennerschutzgases bei anstehendem Lichtbogen zu wechseln. Sie wird bei Schweißungen mit Helium eingesetzt. Die oft bei der Verwendung von Helium auftretenden Zündschwierigkeiten werden umgangen, indem der Lichtbogen zunächst unter Argon gezündet wird. Hat sich dieser stabilisiert, wird mit der Bigas-Funktion auf die Heliumversorgung umgeschaltet.

Unabhängig vom Ausrüstungsstandard der jeweiligen Orbitalschweißanlage wird das Schweißschutzgas überwacht. Bei fehlendem Schweißschutzgas bleibt der Zyklusstart blockiert. Wird während der Schweißung ein vom Werk voreingestellter Wert des Schutzgasflusses unterschritten, erfolgt ein automatischer Abbruch des Zyklus, um größere Schäden am Werkstück zu vermeiden.

## 11.2. Schweißstrom



Schweißstromsteuerungsfunktion – Synoptikanzeige einer MMS der P4-P6 Serien der Polysoude Orbitalschweißstromquellen

### 11.2.1. Zündung des Lichtbogens

Zum Zünden des Lichtbogens wird in der Orbitalschweißtechnik die Wolframelektrode mit 2 Mikrosekunden dauernden Hochspannungsimpulsen von 10kV bei einer Frequenz von 50 Hz beaufschlagt. Die Hochspannungsimpulse ionisieren eine Gassäule zwischen der Elektrode und dem Werkstück. Sie wird dadurch in einen elektrisch leitenden Zustand versetzt. Ein Funke entsteht und zündet den Lichtbogen. Diese Zündmethode wird standardmäßig bei allen Orbitalschweißanlagen eingesetzt.

Die HF-Zündung kann jedoch nicht für Kabellängen verwendet werden, die eine Länge von 30–50m (zwischen Stromquelle und Schweißkopf) überschreiten. Wenn der Orbitalschweißkopf mit einer AVC-Einheit aus-

gestattet ist, kann statt der HF-Zündung eine Lift Arc-Zündung gewählt werden. Der auf dem AVC-Schlitten montierte Schweißbrenner wird langsam auf das Werkstück zugefahren. Sobald die Wolframelektrode die Werkstückoberfläche berührt, wird der Schweißbrenner zurückgefahren (lifted) und die Elektrode unter Spannung gesetzt. Auch hier entsteht ein Funke, der den Lichtbogen entstehen lässt. Sobald sich dieser stabilisiert hat, kann der Brenner weiter zurückgefahren werden, bis der programmierte Elektrodenabstand erreicht ist. Die beschriebene Lift Arc Methode wurde von Polysoude entwickelt. Unerwünschte Wolframeinschlüsse an der Zündstelle werden damit sicher vermieden.

### 11.2.2. Schweißstromformen

Der Schweißstrom ist eine der maßgeblichen Größen beim Orbitalschweißprozess, daher müssen Stromstärke und Pulsparameter von der Stromquelle präzise überwacht und gesteuert werden. Bei Schweißstromstärken unter 100 Ampere wird eine Genauigkeit von  $\pm 1$  A zugesichert, bei Strömen über 100 A beträgt die Genauigkeit 1 %. Um der jeweiligen Anwendung

gerecht zu werden, kann zwischen verschiedenen Schweißstromformen gewählt werden:

- ▶ Ungepulster Schweißstrom (1): Die Schweißstromstärke wird nicht verändert.
- ▶ Thermisches Pulsen (2): Diese Schweißstromform wird bei den meisten WIG-Orbitalschweißanwendungen eingesetzt (vgl. 6.2). Die maximale Frequenz beim thermischen Pulsen beträgt 10Hz.

## 13. Schweißdatenerfassung im Echtzeitmodus

### 13.1. Kalibrierung

Bei einer Fertigung gemäß einem Qualitätssicherungssystem, z.B. nach ISO 9000, dürfen nur kalibrierte Messzeuge eingesetzt werden.

Der Begriff des Kalibrierens wird durch Gesetze und Normen verbindlich festgelegt. Es wird u.A. gefordert, dass die Anzeige von Messgeräten, die in eine Schweißausrüstung eingebaut sind, nach nationalen oder internationalen Standards oder mit Hilfe zertifizierter Normen

geeicht sein müssen.

Zum Kalibrieren werden eine zertifizierte Messausrüstung und genehmigte Arbeitsanweisungen benötigt. Die Vergleichsmessungen dürfen nur durch anerkannte Stellen, z.B. den Hersteller der Schweißausrüstung, die Qualitätssicherungsabteilung des Kunden oder externe Organisationen, den Vorschriften entsprechend, vorgenommen werden.

### 13.2. Integrierte Schweißdatenerfassung in Echtzeit

Die Werte der grundlegenden Parameter Schweißstrom, Lichtbogenspannung, Schweißgeschwindigkeit und Drahtvorschubgeschwindigkeit werden während des Schweißzyklus periodisch gemessen und gespeichert. Nach jeder abgeschlossenen Schweißung können die gemessenen Werte, versehen mit Datum und Startzeit, in Form eines Protokolls dokumentiert und ausgedruckt werden.

Auch die Schweißprogramme selbst können in gedruckter Form ausgegeben werden, um die richtige Eingabe der Parameterwerte zu kontrollieren und eine Dokumentation für die Qualitätssicherung vorlegen zu können. Die Ausdrücke sind mit dem Namen des Programms gekennzeichnet und enthalten neben den eingegebenen Parameterwerten die Ober- und Untergrenzen, die bei Korrekturen mit der Fernbedienung während des Ablaufs eines Schweißzyklus nicht überschritten werden können.

Das integrierte Schweißdatenerfassungssystem mit Drucker ist in Verbindung mit den Stromquellen PS 164-2, P4 und P6 erhältlich.

	U (V)	I (A)	V rot (cm/min)	V ill (cm/min)
55	0 0	0 0		0
502	1° 9 3	104 8	76	500
	9 0	69 8		
10°	9 0	104 7	65	499
	8 5	79 8		
70°	8 9	104 8	65	499
	8 5	79 7		
30°	9 0	104 8	65	500
	8 7	79 7		
40°	8 8	104 6	65	500
	8 8	79 8		
50°	8 8	104 6	65	500
	8 7	79 8		
60°	9 1	104 8	66	500
	8 5	79 8		
70°	9 0	104 8	65	500
	8 7	79 7		
80°	9 0	104 7	65	500
	8 7	79 7		
140°	8 9	100 8	65	498
	8 5	80 7		
250°	8 8	100 7	65	500
	8 6	80 7		
360°	9 1	100 8	65	500
	8 6	80 7		
364°	9 1	100 8	65	500
	8 5	80 7		
370°	9 0	100 1	65	600
	8 3	67 3		
380°	8 0	44 0	65	49
	8 0	47 0		

Depart cycle mar 25 (ev 2014 18 36 35  
Duree cycle: 00 01 27 H = 384  
\*\*\*\*\* Commentaires de soudeur ! \*\*\*\*\*

Schweißdatenprotokoll einer Polysoude Orbitalschweißstromquelle

- ▶ Ein Expertensystem mit einer Suchfunktion, die bis zu 8 Suchkriterien berücksichtigt.
- ▶ Eine rechnergestützte Optimierungsfunktion mit Hilfestellungen für Rohr-Rohr- und Rohr-Rohrbodenschweißaufgaben.
- ▶ Die automatische Erstellung von Schweißprogrammen beim Orbitalschweißen ohne Zusatzdraht.

Die Schweißstromquellen der Serien P4 und P6 verfügen über die beschriebenen Möglichkeiten. Es werden Online- und Offline-Programmierung angeboten und eine LAN-Einbindung über Ethernet ist ebenfalls vorbereitet.



Taktiler Bildschirm einer Polysoude Orbitalschweißstromquelle P4

### 12.3. Offline-Programmierung mit Hilfe eines PC

Die Programmerstellung für sehr komplizierte Schweißprobleme und Forschungsaufgaben werden offline mit Hilfe eines PC durchgeführt. Die Funktionsabläufe werden zeilenweise definiert, ähnlich wie bei der Programmierung einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine. Hier allerdings werden dem Programmierer die Befehle nicht in Form eines Codes, sondern in seiner Muttersprache zur Verfügung gestellt. Nach einer kurzen Unterweisung ist jeder Schweißer in der Lage, seine eigenen Schweißprogramme

zu erstellen.

Die Schweißsoftware ist für eine Windows®-Umgebung konzipiert, die Benutzeroberfläche präsentiert sich ähnlich einem Excel®-Arbeitsblatt. Durch die Nähe zu Windows® ist eine Verbindung mit vielen Dateien möglich, so können umfassende Dokumentationen von Schweißzyklen und zugehörigen Parametern erstellt werden.

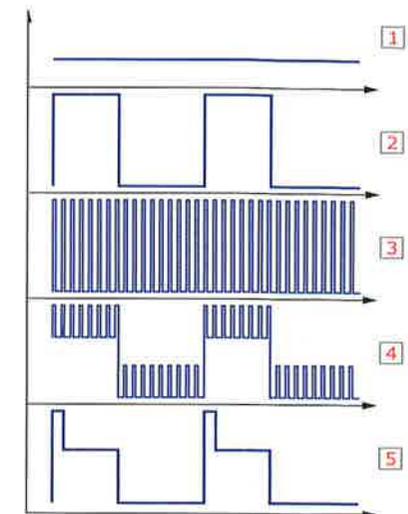


Programmierung eines Schweißzyklus für eine Polysoude Orbitalschweißstromquelle der PC-Baureihe

▶ Schnelles Pulsen(3): Die Pulsfrequenz des Schweißstromes wird auf 500Hz bis 10000Hz erhöht. Der schnell gepulste Strom ähnelt einem un gepulsten Schweißstrom. Die Lichtbogenstabilität wird jedoch merklich erhöht. Das schnelle Pulsen ist nicht sichtbar, jedoch zu hören.

▶ Schnelles thermisches Pulsen(4): Der Schweißstrom ist das Ergebnis einer Überlagerung von thermischem Pulsen(2) und schnellem Pulsen(3).

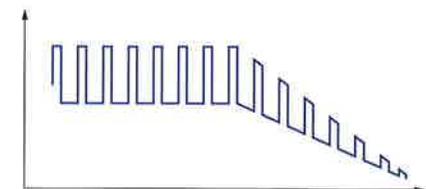
▶ Gepulster Schweißstrom mit Mono-Impulsen(5): Am Anfang jeder Hochstromphase erscheint eine nadelförmige Stromspitze, die einen erhöhten Lichtbogensdruck auf das Schmelzbad hervorruft. Diese Stromform hat sich bewährt, um beim Schweißen in Überkopfposition (Schweißbrenner befindet sich unter dem Werkstück) eine Überhöhung der Nahtwurzel im Inneren des Rohres zu erhalten. Normalerweise nimmt die Schweißnaht in diesem Bereich durch den Schwerkrafteinfluss eine konkave Form an.



Beim WIG-Orbitalschweißen eingesetzte Stromformen

### 11.2.3. Schweißstromabsenkung

Wenn der Schweißstrom am Ende der Schweißung abrupt unterbrochen wird, führt das zur Endkraterbildung. Daher wird der Strom während der Stromabsenkung von seiner ursprünglichen Stärke kontinuierlich auf Werte zwischen 30 und 4 Ampere verringert und erst dann abgeschaltet. Die höheren Abrissstromstärken gelten für Werkstücke mit größerer Wandstärke.



Schweißstromabsenkung

### 11.3. Drehbewegung des Schweißbrenners



Brennerdrehbewegungsfunktion – Synoptikanzeige einer MMS der P4-P6 Serien der Polysoude Orbitalschweißstromquellen

Während des Schweißvorgangs muss der Brenner mit der vorgesehenen linearen Schweißgeschwindigkeit um das Werkstück her-

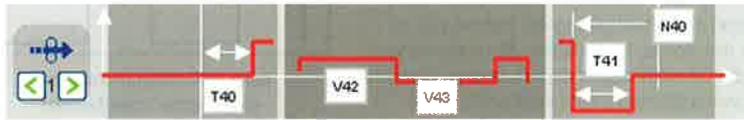
umgeführt werden. Die Schweißgeschwindigkeit liegt bei Standardaufgaben zwischen 50 und 200 mm/min.

Bei den meisten Orbitalschweißanwendungen bleibt die Brennerbewegung ungepulst. Es ist allerdings auch eine gepulste Bewegung möglich, die sich mit den Pulsströmen synchronisieren lässt. Die hohe und die niedrige Geschwindigkeit der Brennerbewegung werden bei der Programmierung durch zwei getrennt einzugebende Werte festgelegt. Im Allgemeinen wird die Brennerbewegung während des Pulsstromes angehalten ( $V = 0 \text{ mm/min}$ ), während der Grundstromphase wird er dann vorwärtsbewegt. Die Toleranz der Schweißgeschwindigkeit beträgt

1 % des programmierten Wertes, Schweißköpfe von Polysoude können mit Impulsgebern oder Tachogeneratoren ausgestattet werden.

Die Pulse werden von der Stromquelle gleichzeitig genutzt, um die jeweilige Brennerposition relativ zum Startpunkt zu berechnen. Somit kann der Schweißzyklus nicht nur zeitbasiert, sondern vorzugsweise auch in Winkelgraden programmiert werden. Unabhängig von der linearen Schweißgeschwindigkeit und dem tatsächlichen Rohrdurchmesser entspricht eine Drehung des Brenners stets  $360^\circ$ . Dadurch wird eine intuitiv ausgerichtete Programmierung möglich.

### 11.4. Drahtvorschub



Drahtvorschubfunktion – Synoptikanzeige einer MMS der P4-P6 Serien der Polysoude Orbitalschweißstromquellen

Die Orbitalschweißstromquellen sind in der Lage, unterschiedliche Drahtvorschubgeräte zu steuern. Die erreichbaren Drahtvorschubgeschwindigkeiten liegen zwischen 0 und 8000 mm/min. Dabei wird eine Toleranz von 1 % eingehalten.

Von allen Orbitalschweißstromquellen unterstützte Funktionen sind: Start und Stopp der Drahtförderung sowie gepulster Drahtvorschub. Das Pulsen des Drahtvorschubs kann mit dem gepulsten Schweißstrom synchronisiert werden. Während des Pulsstromes wird der Draht mit einer hohen Geschwindigkeit gefördert. Dahingegen wird beim Grundstrom die Drahtgeschwindigkeit abgesenkt. Da beim WIG-Schweißen Drahtfördergeschwindigkeit und Schweißstromstärke unabhängig voneinander sind, lässt sich die Drahtsynchronisation umkehren. Die hohe Drahtfördergeschwindigkeit fällt mit der Periode der niedrigen Stromstärke zusammen. Bei dem Einbringen der Wurzellage trifft der Draht dann auf ein kleines Schmelzbad und schmilzt nur zögerlich. Das Schmelzbad wird daher mit dem Draht durchgedrückt und man

erhält die gewünschte konvexe Nahtoberfläche an der Wurzelinnenseite.

Eine Drahtrückzugfunktion erlaubt es, den Schweißdraht nach dem Ende der Drahtförderung um einige Millimeter zurückzuziehen. Dadurch wird vermieden, dass das stehende Drahtende vom Lichtbogen aufgeschmolzen wird und sich dort eine kleine Kugel bildet oder der Draht im ungünstigsten Fall im Schweißbad einfriert.

#### Für Fachleute:

1 - Marktübliche Schweißdrahtdurchmesser liegen zwischen 0,6 mm und 1,2 mm. Beim Orbitalschweißen sorgt ein präzise gezogener, sauberer Draht von 0,8 mm Durchmesser für beste Schweißergebnisse.

2 - Die Abschmelzleistung hängt nicht nur von der Genauigkeit der Drahtfördergeschwindigkeit ab, sondern auch von einer präzise eingehaltenen Drahtgeometrie. Eine Abweichung des Drahtdurchmessers von nur 0,02 mm verursacht bei einem Schweißdraht von 0,8 mm Durchmesser bereits eine Änderung der Abschmelzleistung um 5 %.

### 12.2. Benutzeroberflächen zum Programmieren der Orbitalschweißzyklen

Zur Kommunikation zwischen dem Benutzer und der Orbitalschweißanlage stehen derzeit zwei unterschiedliche Schnittstellen zur Verfügung.

1 - Im Falle einer synoptischen Benutzeroberfläche wird der Schweißzyklus in Form einer graphischen Darstellung wiedergegeben. Mit einem Cursor wählt der Bediener nacheinander die zu verändernden Parameter aus. Die zugehörigen Werte erscheinen auf einem zweizeiligen Display und können je nach Bedarf modifiziert werden. Zu Beginn werden die Rahmenbedingungen festgelegt:

► Es wird mit gepulstem oder ungepulstem Strom geschweißt

► Es wird mit gepulstem oder ungepulstem Zusatzdraht geschweißt, oder es wird kein Draht verwendet.

Nur die den gewählten Rahmenbedingungen entsprechenden Parameter sind zugänglich. Die mikroprozessorgesteuerte Orbitalschweißstromquelle PS 164-2 ist mit einer Schnittstelle ausgestattet. Die programmierten Werte können auf einer Memokarte gespeichert werden.

Das vorgestellte Interface ermöglicht es, maschinenbezogene Parameter zu bearbeiten. Allerdings können keine zusätzlichen Angaben an der Schweißstromquelle eingegeben werden. Es ist jedoch möglich, die in der Stromquelle gespeicherten Daten auf eine Memokarte zu übertragen und mit einem PC zu lesen. Spezielle Software ermög-

licht es, die gewünschten Angaben hinzuzufügen, ganze Schweißzyklen offline zu programmieren oder eine Schweißdatenbibliothek zu verwalten. Die Software ist der Windows™-Oberfläche angepasst und leicht zu bedienen und zu verstehen. Der Datentransfer zurück zur Stromquelle erfolgt dann ebenfalls mit einer Memokarte.

2 - In eine kürzlich auf dem Markt erschienene Orbitalschweißstromquelle ist eine besonders benutzerfreundliche Mensch-Maschine-Schnittstelle eingebaut worden. Sie basiert auf einem internen PC mit einem Linux-Betriebssystem. Die synoptische Darstellung ist hier in eine virtuelle Umgebung verlegt worden, die sich auf einem 10,4" großen, berührungsgesteuerten Bildschirm darstellt. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle erlaubt die vollständige Schweißdatenverwaltung, unterstützt die Programmierung und Entwicklung von Schweißanweisungen und enthält umfangreiche Funktionen:

► Eine vollständige Dokumentation der Werkstückdaten.

► Die Erstellung verketteter Schweißzyklen zur automatischen, ununterbrochenen Durchführung von Mehrlagenschweißungen.

► Eine detaillierte Beschreibung der nicht programmierbaren Parameter (mechanische Einstellungen an den verwendeten Geräten; Typ der verwendeten Gase, Elektroden, Zusatzdrähte usw.).



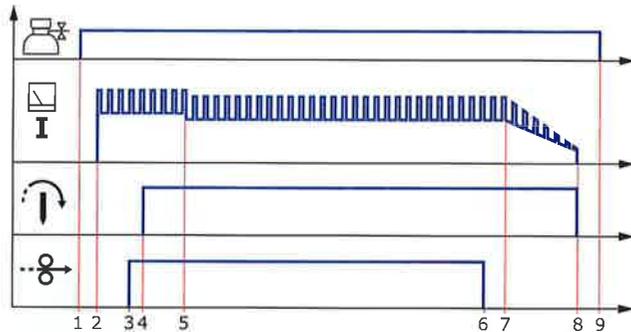
Synoptische Benutzeroberfläche einer Polysoude Orbitalschweißstromquelle PS 164-2

## 12. Ablauf eines Schweißzyklus

### 12.1. Programmaufbau eines Orbitalschweißzyklus bei 4 gesteuerten Achsen

Die Komplexität eines Programms für einen Orbitalschweißzyklus hängt vom Schwierigkeitsgrad der Schweißaufgabe und dem Automatisierungsgrad der Ausrüstung ab. Alle Programme sind jedoch ähnlich strukturiert und folgen

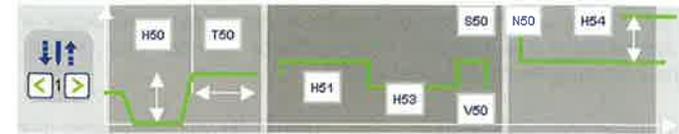
einem logischen Ablauf. Als Beispiel wird ein Orbitalschweißprogramm für eine Schweißaufgabe mit Zusatz-draht, aber ohne AVC und Pendelung vorgestellt.



1	Start des Schweißzyklus (Mit Startknopf der Fernbedienung ausgelöst)
1 - 2	Fließen des Schweißschutzgases während der programmierten Vorströmzeit
2	Zünden des Lichtbogens und sofortiger Beginn des gepulsten Schweißstroms. Reset der Zeitmessung
2 - 3	Zeitverzögerung bis zum Beginn der Drahtförderung
2 - 4	Zeitverzögerung bis zum Beginn der Drehbewegung
3	Start der Drahtförderung*
4	Start der Drehbewegung* (beim Orbitalschweißen ist die Brennerposition vor dem Start stets die Bezugsposition)
5	Beginn eines neuen Sektors mit geändertem Schweißstrom
6	Ende der Drahtförderung* (und Drahtrückzug, wenn vorgesehen). Das Ende der Drahtförderung wird üblicherweise nach einer Drehung von etwa 360° programmiert.
7	Der Beginn der Stromabsenkung wird im Allgemeinen nach einer Drehung von 360° + 5° bis 10° Überlappung programmiert, um den Schweißnahtanfang noch einmal aufzuschmelzen und ein einwandfreies Schweißnahtende zu erhalten.
7 - 8	Dauer der Stromabsenkung, Krater- und Rissbildung wird vermieden
8	Lichtbogenabbriss und Ende der Drehbewegung
8 - 9	Fließen des Schweißschutzgases während der programmierten Nachströmzeit zum Schutz des letzten Schweißnahtbereiches des noch heißen Werkstücks und der glühenden Wolframelektrode vor dem Zutritt von Luftsauerstoff
9	Abschalten des Schutzgasflusses und Ende des Schweißzyklus.

\* je nach Anwendung können diese Funktionen in unterschiedlicher Reihenfolge aufgerufen werden

### 11.5. Lichtbogenhöhensteuerung AVC (Arc Voltage Control)

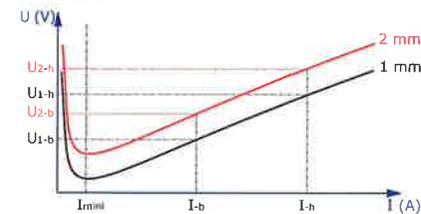


Lichtbogenhöhensteuerungsfunktion (AVC) – Synoptikanzeige einer MMS der P4-P6 Serien der Polysoude Orbitalschweißstromquellen

#### 11.5.1. Grundsätzliche Anmerkungen

Die Länge des Lichtbogens muss während des Schweißens konstant gehalten werden, jedoch gibt es dafür keine einfachen Messverfahren. Es ist allerdings bekannt, dass bei gleich bleibenden Schweißbedingungen jeder Lichtbogenlänge eine Lichtbogenlänge zugeordnet ist. Diese Tatsache wird zur Kontrolle der Lichtbogenlänge während der Schweißung genutzt. Die Einflüsse der einzelnen Parameter sollen dazu im Einzelnen erläutert werden.

Die Abhängigkeit zwischen Lichtbogenlänge und Schweißstromstärke bei verschiedenen Lichtbogenlängen ist in der folgenden Graphik wiedergegeben:



Durch die schwarze Linie werden die bei einer Lichtbogenlänge von 1 mm gemessenen Lichtbogen Spannungen bei unterschiedlichen Schweißstromstärken dargestellt

Die rote Linie verdeutlicht die Ergebnisse der gleichen Messung bei einer Lichtbogenlänge von 2 mm

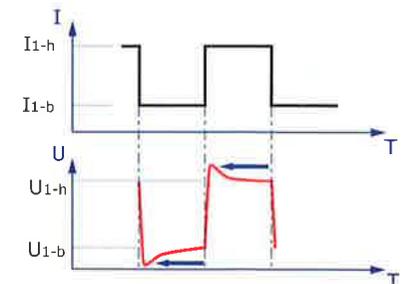
Bei Schweißströmen unter  $I_{\text{mini}}$  kann die Lichtbogenhöhensteuerung nicht eingesetzt werden.  $I_{\text{mini}}$  beträgt nach allgemeiner Übereinkunft 30 Ampere.

- ▶ Regel Nr.1: Bei unveränderter Schweißstromstärke ( $I_b$ ) verursacht eine Erhöhung der Lichtbogenlänge von 1 mm auf 2 mm einen Anstieg der Lichtbogen Spannung von  $U_{1-b}$  nach  $U_{2-b}$  (von der schwarzen zur roten Linie).
- ▶ Regel Nr.2: Wenn bei gleichbleibender Lichtbogenlänge der Schweißstrom erhöht wird (von  $I_b$  nach  $I_h$  auf der schwarzen Linie), steigt auch die Lichtbogen Spannung (von  $U_{1-b}$  nach  $U_{1-h}$ ).

▶ Regel Nr.3: Wenn ein anderes Schutzgas benutzt wird (bei sonst gleichbleibenden Schweißparametern), ändert sich die Lichtbogenlänge. Wird an Stelle von Argon z.B. ein Argon-Wasserstoffgemisch verwendet, bildet sich ein deutlich kürzerer Lichtbogen aus.

▶ Regel Nr.4: Wenn die Elektrodengeometrie geändert wird (Anschliffwinkel, Durchmesser an der Spitze), ändert sich bei gleichbleibender Schweißstromstärke auch die Lichtbogenlänge. Wenn die Lichtbogenlänge konstant gehalten wird, ändert sich die Lichtbogen Spannung.

▶ Regel Nr.5: Bei gepulstem Schweißstrom ändert sich die Lichtbogen Spannung nicht proportional.



Jeder Wechsel der Schweißstromstärke (von  $I_{1-h}$  nach  $I_{1-b}$  oder von  $I_{1-b}$  nach  $I_{1-h}$ ) verursacht eine Spannungsspitze, die als Überschwingen oder *overshoot* bezeichnet wird.

### 11.5.2. Einstellungen der Lichtbogenhöhensteuerung AVC

Damit das AVC-System auch bei dem üblicherweise in der Orbitalschweißtechnik angewendeten gepulsten Schweißstrom eine konstante Lichtbogenlänge erzeugen kann, müssen gemäß den Regeln 1 und 2 einige Parameter angepasst werden:

► Die Lichtbogenspannungsmessung wird auf den Pulsstrom oder auf den Grundstrom beschränkt. Während der Periode, in der nicht gemessen wird, bleibt das AVC-System ausgeschaltet und der Brennerschlitten wird nicht bewegt. Die Programmierung ist einfach, da nur ein Parameter festgelegt werden muss.

► Die Lichtbogenspannung wird während des Puls- und des Grundstromes gemessen. Diese Art der AVC-Steuerung kann bei thermischem Pulsen (Pulsfrequenz < 10Hz) angewendet werden.

Um die Brennerbewegungen möglichst gering zu halten, können weitere Parameter der AVC-Steuerung eingestellt werden. Hier aufgelistet mit abnehmender Bedeutung:

- Empfindlichkeit des AVC-Systems
- Maximale Geschwindigkeit des AVC-Schlittens
- Totzeit am Anfang des Pulsstromanstiegs zum Ausblenden von Überschwingeffekten (Regel Nr. 5).

### 11.5.3. Automatisches Anfahren des Abstands zwischen Elektrode und Werkstück

Die Position des Schweißbrenners kann auch durch eine Funktion *programmierbare Höhe* festgelegt und verändert werden. Ausgehend von einer Referenzhöhe wird der Brenner mit dem AVC-Schlitten auf die in Millimetern einzugebende Höhe verfahren.

Die AVC-Funktion *programmierbare Höhe* wird besonders bei Rohr-Rohrbodenschweißoperationen zur Steuerung der Brennerposition benutzt. Ferner lassen sich mit speziellen Schweißwerkzeugen die Konturen komplizierter Werkstücke im *Huckepack-Verfahren* nachfahren.

## 11.6. Brennerpendelung



Brennerpendelungsfunktion – Synoptikanzeige einer MMS der P4-P6 Serien der Polysoude Orbitalschweißstromquellen

Bei einigen Formen der Nahtvorbereitung werden recht breite Schweißnähte erforderlich, insbesondere bei größeren Rohrwandstärken. Während bei der Strichraupentechnik mehrere Nähte nebeneinandergelegt werden müssen,

um die Breite einer Lage zu überdecken, kann bei einer gependelten Schweißnaht, bei der der Brenner oszillierend quer zur Schweißrichtung bewegt wird, meistens die ganze Nahtbreite mit einer Lage gefüllt werden. Das Hin- und

Herbewegen des Brenners wird durch den elektromotorisch angetriebenen Pendelschlitten erzeugt.

Zum Programmieren der Pendelbewegung müssen als Parameter die Weite und Geschwindigkeit der Pendelbewegung festgelegt werden. Ferner die Verweilzeiten des Brenners an der einen und der anderen Seitenwand der Schweißfuge.

## 11.7. Fernbedienung

Über die Fernbedienung kommuniziert der Schweißer mit der Anlage, ihm sind alle Funktionen der Stromquelle zugänglich, die bei der Vorbereitung der Maschinen und während der Durchführung der Schweißungen benötigt werden.

► Außerhalb des Schweißzyklus

Im Modus *Außerhalb des Schweißzyklus* können alle Bewegungsachsen aktiviert werden: Brennerdrehbewegung, Brennerzustellung und Zentrierung (wenn der Schweißkopf mit AVC- und Pendeleinrichtung ausgestattet ist).

► Im Schweißzyklus

Im Modus *Im Schweißzyklus* können die Schweißparameter nötigenfalls direkt angepasst werden (bei erlaubtem Zugriff). Weiterhin kann die Brennerposition (Höhe über dem Werkstück, Zentrierung über der Schweißfuge) geändert werden. Viele Fernbedienungstypen sind mit einem Display ausgerüstet, über das die Anzeige der aktuellen Werte der Schweißstromstärke,

Eine Synchronisation zwischen gepulstem Schweißstrom und Pendelbewegung ist möglich. Um einen guten Einbrand zu erhalten, kann beispielsweise während der Verweilzeit des Brenners an den Seitenwänden die Stromstärke ununterbrochen auf ihrem hohen Wert gehalten werden.

der Lichtbogenspannung, der Schweiß- und Drahtgeschwindigkeit, der Brennerposition und der seit Zyklusbeginn vergangenen Zeit abgerufen werden kann.



Fernbedienung einer Polysoude Orbitalschweißstromquelle P6

## 11.8. Kühlung

Bis auf wenige, für besondere Einsatzgebiete vorgesehene Konstruktionen sind die Orbitalschweißköpfe wassergekühlt.

Bei besonders leistungsstarken Anlagen (Heißdrahtprozess, Plasmaschweißen) werden externe Kühlaggregate benötigt.

Bei allen Anlagen wird der Kühlwasserkreislauf überwacht und die Stromquelle beim Auftreten von Fehlern abgeschaltet, um gekühlte Anlagenteile wie den Schweißbrenner vor Schäden durch Überhitzung zu bewahren.