



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 FOOD
☎ +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 - DUSSLINGEN
☎ +49 (0) 7072 60 07 60

NIEDERLASSUNG LEVERKUSEN
☎ +49 (0) 2171 58 13 36

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

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

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

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

POLYSOUDE
THE ART OF WELDING

Das Handbuch des
WIG-Engspaltschweißen



Find us on
Facebook

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

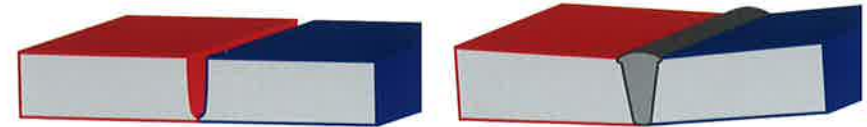
Ersatzteil durch Polysoude Numis ☎ +33 (0) 2 40 68 11 00



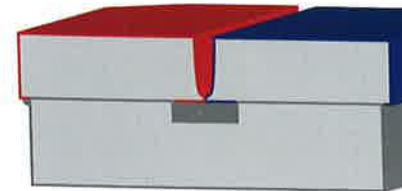
POLYSOUDE
THE ART OF WELDING

PN-0813085

Beim Verbinden von Blechen kann eine feste Einspannung Verwerfungen verhindern,



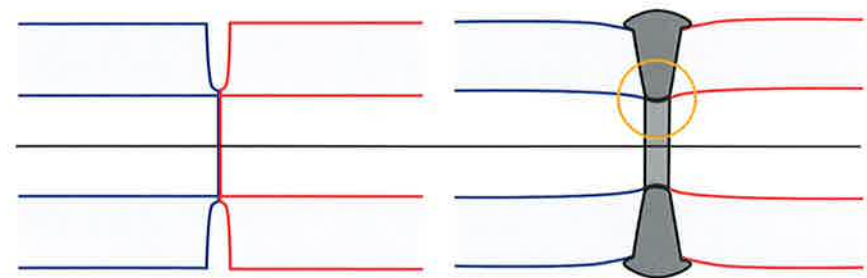
Verwerfung beim Verbinden nicht eingespannter Bleche (mangelnde Gestaltfestigkeit der Bleche führt zu übermäßigen Schrumpfeffekten)



Feste Einspannung der Werkstückteile durch Anschweißen einer Aussteifung

4 - Schrumpfvorgänge in Umfangsrichtung

Schrumpfvorgänge in Umfangsrichtung erfolgen entlang der Längsachse der Schweißnaht. Bei Rohrverbindungen machen sich diese Schrumpfvorgänge durch eine Verringerung des Innendurchmessers bemerkbar.



2013 Polysoude Originalausgabe: Polysoude S.A.S. Nantes Frankreich - Aktualisierung: 2014.

Fotos, Abbildungen und Zeichnungen dienen dem besseren Verständnis und sind daher unverbindlich. Alle Wiedergaberechte vorbehalten. Ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers darf dieses Dokument weder insgesamt, noch teilweise in irgendeiner Form und mit irgendeinem Mittel, ob elektronisch oder mechanisch, einschließlich Fotokopie, Aufnahme oder Datentechnik, reproduziert werden.

Gedruckt in Frankreich.

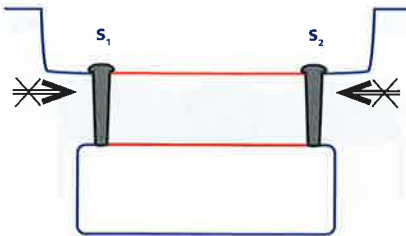
Veröffentlicht durch Polysoude, Nantes, Frankreich.

www.polysoude.com

info@polysoude.com

3 - Die Verformung kompensierende Schweißungen

Doppelt geschweißte gerade Naht

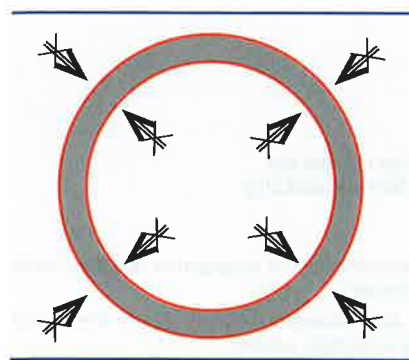
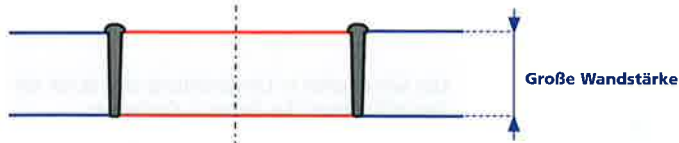


Die Schrumpfung ist kleiner als bei einer nachgiebig eingespannten Rohr-Rohrverbindung (bleibende hohe Zugspannungen im Werkstück).

Wenn die beiden Verbindungen komplett oder partiell zugeschweißt werden, ist die Schrumpfung in Querrichtung behindert.

Wenn die Naht S1 vollständig zugeschweißt wird, liegt keine Behinderung der Schrumpfung in Querrichtung vor, allerdings ergibt sich für S2 als unerwünschte Folge eine unterschiedliche Nahtbreite.

Umfangsnahnt



Das Schrumpfen in Umfangsrichtung wird durch die Gestaltfestigkeit des Rohres aufgefangen

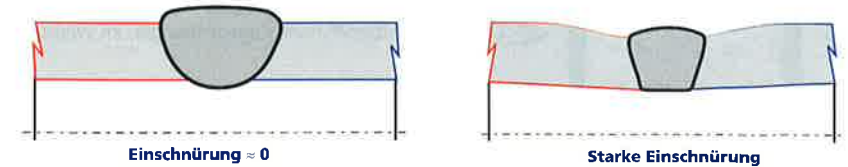
INHALTSVERZEICHNIS

1. Einführung	5
2. Bedingungen für einen erfolgreichen Einsatz des WIG-Schweißens	6
3. Das WIG-Schweißen unter Einsatz hoher Stromstärken	6
3.1. Vorbemerkungen	6
3.2. Merkmale der Schweißanlagen für dickwandige Werkstücke	7
3.3. Schweißströme	7
4. Praktische Anwendung	10
4.1. Produktivitätszuwachs beim Engspaltschweißen	10
4.2. Schweißungen bei Wandstärken zwischen 30 und 300 mm	12
5. Die Gestaltung der Schweißbrenner	14
5.1. Die Engspaltbrenner NG-V2 und -V3	16
5.2. Engspaltbrenner des Typs NG-7	17
5.3. Engspaltbrenner des Typs NG-OSC mit gependelter Elektrode	18
5.4. Integrierung einer Videoausrüstung	19
5.5. Sonderfall konventioneller WIG-Schweißbrenner mit motorisch verstellbarer Schutzgasdüse	22
5.6. Tests zur Freigabe eines Engspaltbrenners (NG)	23
6. Schweißmethoden in der Engspalttechnik	24
6.1. WIG-Schweißen mit Kaltdraht und mit Heißdraht	25
6.2. Vorgehensweise beim Einbringen der Fülllagen	26
6.3. Engspaltschweißen durch Einbringen einer schleppend geschweißten Strichraupe pro Lage	26
6.4. Engspaltschweißen durch Einbringen von zwei oder mehr schleppend geschweißten Strichraupen pro Lage	27
6.5. Engspaltschweißen durch Einbringen von jeweils einer Lage mit gependelter Elektrode	28
6.6. Engspaltschweißen in mehreren Durchgängen pro Lage mit gependelter Elektrode	29

7. Erstellung der Schweißanweisungen für das Engspaltschweißen	30
7.1. Wurzellage	30
7.2. Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche	35
7.3. Fülllagen	36
7.4. Einbringen der letzten Fülllagen	37
7.5. Aufbringen der Decklage oder Überschweißen zur Verbesserung des Nahtaussehens	37
7.6. Reparaturen und Verhalten bei Störungen im Arbeitsablauf	39
7.7. Typische Schwierigkeiten beim Engspaltschweißen und auf Erfahrungen beruhende Gegenmaßnahmen	39
8. Auswahl der Anlagen	43
8.1. Wandstärken unter 45 mm	44
8.2. Wandstärken bis zu 100 mm	45
8.3. Wandstärken über 100 mm	45
8.4. Schweißanlagen mit Robotern	46
9. Zusammenfassung	47
10. Anhang 1 - Anleitung zur Erstellung einer Schweißanweisung zum Engspaltschweißen mit einer Schweißbraupe pro Lage	49
11. Anhang 2 - Beim Schweißen auftretende Schrumpfungen	52

Die bei einigen Werkstoffe zu beobachtende Einschnürung ist eine Folge der Verformung gewisser Dickenbereiche (typische Erscheinungen, die bei den korrosionsbeständigen Stählen 304L, 316L etc. zu beobachten sind).

Als Folge lässt sich eine Durchmesserabnahme neben der Schweißnaht beobachten (Einschnürungseffekt).

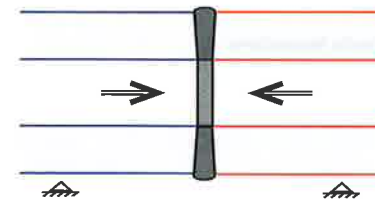


Festlegung des Flankenwinkels in Abhängigkeit der Schrumpfvorgänge.

Fugenbreite: Breite der Schweißlage + Schrumpfung in Querrichtung + Einschnürung.

Einfluss der Gestaltung der Verbindung

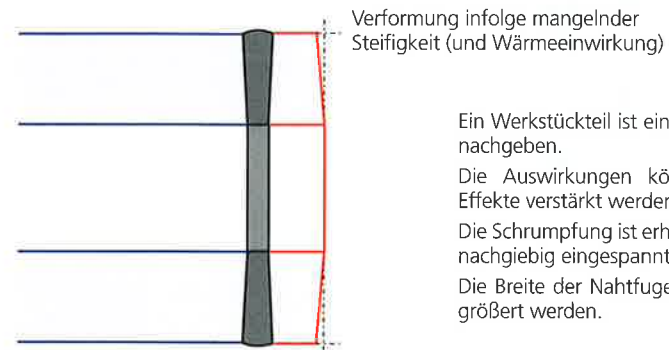
1 - Schrumpfvorgänge nicht behindert (Fügen von zwei Rohrabschnitten)



Das Schrumpfen in Längsrichtung wird durch die Gestaltfestigkeit des Rohres aufgefangen.

Die Schrumpfvorgänge in Querrichtung und die Einschnürung werden nicht behindert.

2 - Übermäßige Schrumpfeffekte



Verformung infolge mangelnder Steifigkeit (und Wärmeeinwirkung)

Ein Werkstückteil ist eingespannt und kann nicht nachgeben.

Die Auswirkungen können durch thermische Effekte verstärkt werden.

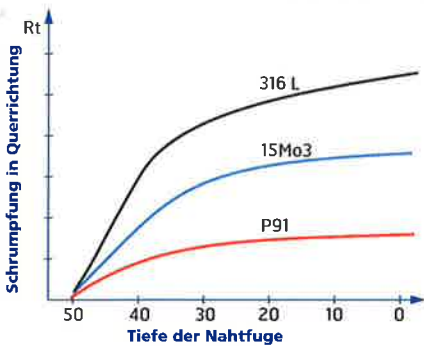
Die Schrumpfung ist erheblich größer als bei einer nachgiebig eingespannten Rohr-Rohrverbindung. Die Breite der Nahtfuge muss entsprechend vergrößert werden.

11. Anhang 2 - Beim Schweißen auftretende Schrumpfungen

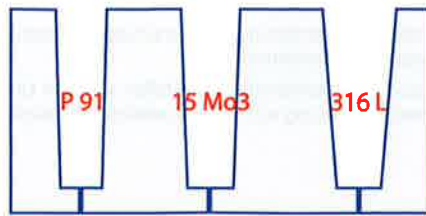
Eine wiederholgenaue Vorausberechnung der Schrumpfeigenschaften eines Werkstückes bei einem Schweißvorgang erlaubt es, die richtige Steigung für die Flanke der Schweißfuge zu bestimmen.

Die Schrumpfung hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Beim Schweißen eingebrachte Streckenenergie
- Zu schweißende Wandstärke
- Verhalten der beteiligten Werkstoffe
- Art der Schweißnahtvorbereitung.



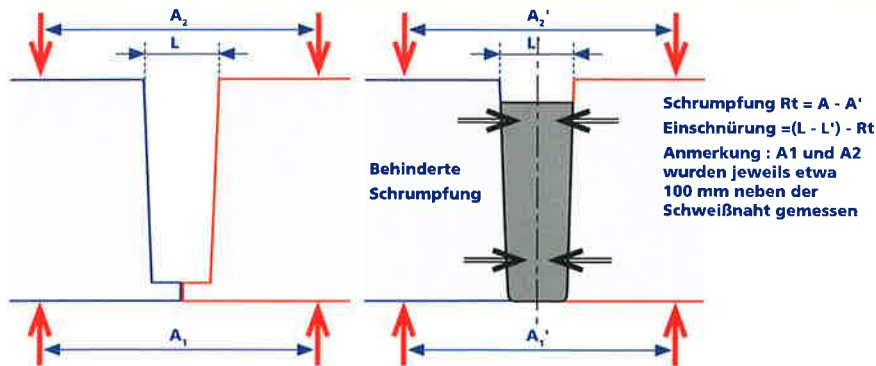
Einfluss des Grundwerkstoffes auf die Schrumpfeigenschaften (alle anderen Parameter sind konstant geblieben)



Beispiele des Flankenwinkels bei verschiedenen Werkstoffen

Bei konstanter Energieeinbringung hängt die Schrumpfung von den Werkstoffeigenschaften und der Werkstückbeschaffenheit ab.

Schrumpfung in Querrichtung und Einschnürung (Schrumpfung in Umfangsrichtung beim Schweißfortschritt)



Die Schrumpfung in Querrichtung entspricht dem Rückgang der Breite der Verbindung im Verhältnis zur Schweißnahtstärke.

1. Einführung

Durch die strengen Vorgaben bezüglich der Qualität geschweißter Verbindungen und die notwendige hohe Produktivität bei ihrer Herstellung sehen sich die industriellen Anwender in zunehmendem Maße gezwungen, automatisierte Prozesse einzusetzen.

Diese Entscheidung wird natürlich noch von einer ganzen Reihe weiterer Vorgaben beeinflusst, etwa der Forderung bezüglich eines nachhaltigen Umgangs mit der benötigten Energie oder die Erwartung einer besonders gleichmäßig ausgebildeten Schweißnaht; solche ästhetischen Gesichtspunkte können bei öffentlichen Bauvorhaben eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen.

Im Laufe der vergangenen Jahrzehnte haben die stetigen Fortschritte beim WIG-Schweißen dazu geführt, das sich dieses Verfahren in weiten Anwendungsbereichen etablieren konnte, auch ist der damit verbundene technische Aufwand deutlich geringer als bei ähnlich hoch entwickelten Fügeprozessen (Laser- bzw. Elektronenstrahlschweißen).

Die sichere Beherrschbarkeit aller Zwangslagen haben zu einem bevorzugten Einsatz des WIG-Schweißens in automatisierten Anlagen und beim Orbitalschweißen geführt. Dieser Trend wurde dann durch die hohe Effizienz des Verfahrens beim Schweißen der Verbindungen noch verstärkt.

Auch der Umstand, dass sich aus praktisch allen Metallen und Legierungen hergestellte Werkstücke schweißen lassen, hat in bedeutendem Maße zur Verbreitung des WIG-Verfahrens im Rahmen automatisierter Prozesse beigetragen.

Die besonderen Eigenschaften der auf der Basis ausgefeilter Konzepte konstruierten modernen Brenner (gesteigerte Miniaturisierung, robuste Ausführung, hohe Einschaltdauer) haben es ermöglicht, die Schweißanlagen insgesamt zu optimieren und ihre Leistungsfähigkeit entsprechend zu steigern.

Die mit dem Einsatz des WIG-Schweißens verbundenen Vorzüge haben nicht nur dazu beigetragen, früher dem manuellen Schweißen vorbehaltenen Aufgaben durch automatisierte Vorrichtungen zu lösen, sondern haben auch dazu geführt, dass das Verfahren im Hinblick auf den Einsatz an immer größeren Werkstücken mit stetig zunehmenden Wandstärken weiterentwickelt wurde.

Durch die Auswahl unter verschiedenen Arten von Stromquellen mit gesteigerter Leistung, das Angebot zusätzlich produktivitätserhöhender Funktionen wie der Zugabe von Heißdraht und der Doppeldrahtzuführung sowie die Konstruktion aufgabenspezifischer Brenner für das Auftrag- oder Engspaltschweißen konnten die Anwendungsmöglichkeiten des WIG-Schweißens noch weiter ausgedehnt werden.

Dem heutigen Stand der Technik entsprechend können standardmäßig WIG-Schweißungen an Werkstücken mit Wandstärken von 50 bis 300 mm vorgenommen werden, wobei sich im direkten Vergleich mit den anderen am Markt angebotenen Fügeverfahren zahlreiche Vorteile ergeben.

Um das WIG-Verfahren zum Schweißen dickwandiger Werkstücke erfolgreich einsetzen zu können, müssen allerdings bestimmte Voraussetzungen bezüglich der Auswahl der einzusetzenden Anlagen, der Art der Werkstückvorbereitung und der einzuhaltenden Arbeitsoperationen erfüllt werden.

2. Bedingungen für einen erfolgreichen Einsatz des WIG-Schweißens

Unabhängig davon, ob das WIG-Schweißen bei Werkstücken mit konventioneller Geometrie oder bei dickwandigen Teilen eingesetzt werden soll, müssen bestimmte Regeln bekannt sein und beachtet werden.

Auf die folgenden Randbedingungen sollte daher ein besonderes Augenmerk gerichtet werden:

- An die Qualität der Verbindung werden hohe Ansprüche gestellt
- Die Werkstücke können fachgerecht vorbereitet werden (Einhaltung vorgegebener Toleranzen, definierte Oberflächenbeschaffenheit, Sauberkeit)
- Erfahrungen mit dem Umgang und der Verarbeitung der eingesetzten Werkstoffe liegen vor
- Es werden ausreichende Vorkehrungen getroffen, um äußere Störeinflüsse fernzuhalten (Schutz vor Feuchtigkeit, Zugluft etc.)
- Die Ausstattung des Ateliers genügt den für einen automatisierten Schweißprozess notwendigen Anforderungen
- Die Auswahl des WIG-Prozesses erfolgt unter Berücksichtigung aller für die Fertigung relevanten Kriterien (Qualitätserwartung, Produktivität, Werkstoffeigenschaften etc.).

Erfolgreiche Anwendungen des Prozesses sind z. B. bei der Herstellung von Anlagen zur Energiegewinnung (Wasserkraftwerke sowie mit fossilen oder nuklearen Brennstoffen betriebene Kraftwerke), in der erdölverarbeitenden Industrie, beim Behälter- und Kesselbau sowie der Fertigung und Reparatur dickwandiger Rohre zu finden.

3. Das WIG-Schweißen unter Einsatz hoher Stromstärken

3.1. Vorbemerkungen

Die für den WIG-Prozess charakteristischen Merkmale sind unabhängig von den Wandstärken der zu schweißenden Werkstücke.

Das WIG-Schweißen erfolgt mit einem elektrischen Lichtbogen, der in einer Inertgasatmosphäre zwischen einer Elektrode aus einem Refraktärmetall (Wolfram) und dem Werkstück gezündet wird.

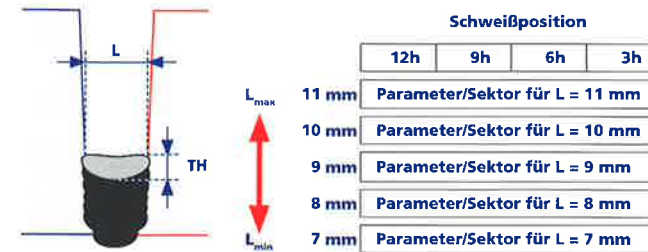
Die Elektrode widersteht den hohen Temperaturen des Lichtbogens, er wird durch ihr besonders angespitzen Ende auf das Werkstück gelenkt, um hier ein Schmelzbad aus verflüssigtem Grundwerkstoff zu bilden, in das der Zusatzwerkstoff in Drahtform einläuft. Der Prozess kann nur dann stabil ablaufen, wenn die Elektrode, der Lichtbogen und das Schmelzbad durch die Inertgasatmosphäre ausreichend vor den schädlichen Einwirkungen des Sauerstoffes aus der umgebenden Luft geschützt werden.

Zum Schweißen großer Wandstärken sind hohe Stromstärken nötig, die eingesetzten Wolframelektroden müssen für diese Stromstärken ausgelegt sein (Elektroden Durchmesser von 3,2 bis 4,0 mm).

Um den Druck des Lichtbogens beim Zündvorgang zu begrenzen und eine sichere Synchronisation mit anderen Funktionen (Lichtbogenhöhensteuerung, Pendelung, Drahtvorschub und Heißdrahtstrom) zu ermöglichen, werden derartig hohe Stromstärken nicht in Form einer Stufe geschaltet, sondern als Flanke durch einen programmierten, allmählichen Stromanstieg erreicht.

Bei der Heißdrahttechnik wird der Zusatzdraht mit einem besonderen Strom von einer eigens dafür vorgesehenen Stromquelle beaufschlagt, das Aufheizen des Drahtes wird durch den Effekt der Jouleschen Stromwärme ermöglicht. Zwar ist die Erwärmung des Zusatzdrahtes beim Heißdrahtschweißen nicht groß genug, um ihn aufzuschmelzen, aber sie verhindert, dass dem Lichtbogen in hohem Maße

► Phase 6 : Festlegen der Grenzwerte der Schweißparameter für das Einbringen der Fülllagen
Schweißparameter in Abhängigkeit der Nahtbreite und der Schweißposition



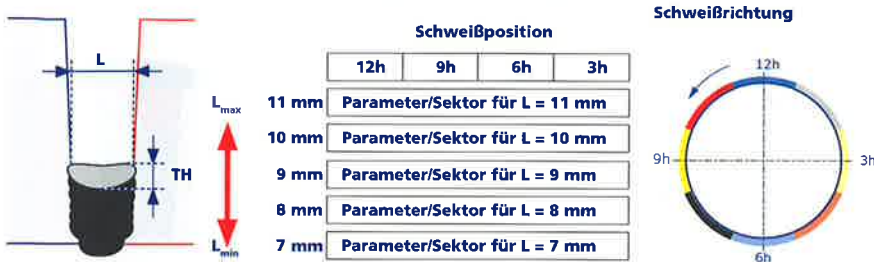
TH : Dicke der Fülllagen bleibt konstant

Nahtbreitenveränderung nur innerhalb der festgelegten Grenzwerte möglich (um eine konstante Lagendicke zu erhalten)

Messung der Nahtbreite an 4 Stellen auf dem Umfang und Festlegung, wie sich die Messwerte laut Schweißanweisung auf die einzustellenden Parameterwerte auswirken.

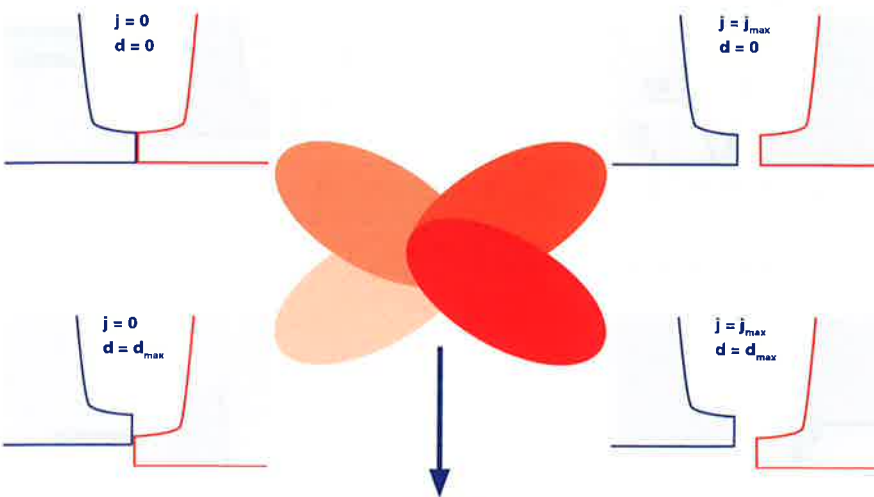
► Phase 4: Fülllagen

Von der Schweißnahtbreite und Schweißposition abhängige Parameter



TH : Dicke der Fülllagen bleibt konstant

► Phase 5: Festlegen der Grenzwerte der Schweißparameter für das Einbringen der Nahtwurzel
Schweißparameter der Wurzelschweißung



Einfluss und Auswirkung der Toleranzen bezüglich des Versatzes beim Positionieren der Werkstücke

Schweißparameter der Nahtwurzel
 $j = 0$ bis $j = j_{max}$ (nominal bis maximal)
 $d = 0$ bis $d = d_{max}$ (nominal bis maximal)

Wärmeenergie entzogen wird, und ermöglicht so eine in weiten Grenzen von der Lichtbogenlänge unabhängige Einstellung der Abschmelzleistung.

Die beim Schweißen dickwandiger Werkstücke notwendigen hohen Stromstärken sind mit der Ausbildung großer und kräftiger Lichtbögen verbunden, zu deren Beherrschung in den meisten Fällen die Pulstechnik eingesetzt wird.

3.2. Merkmale der Schweißanlagen für dickwandige Werkstücke

Die Grundausstattung einer Schweißanlage für dickwandige Werkstücke setzt sich aus einer leistungsstarken Schweißstromquelle (mit maximalen Schweißstromstärken von 300 bis 450 A) mit einem externen Kühlgerät und einer Führungsvorrichtung (Automatenträger, Orbitalschweißkopf, Roboter...) für den spezifischen Brenner zusammen.

Die WIG-Schweißstromquelle gibt im Allgemeinen Gleichstrom ab, die Wolframelektrode wird mit dem negativen Pol verbunden (DCEN).

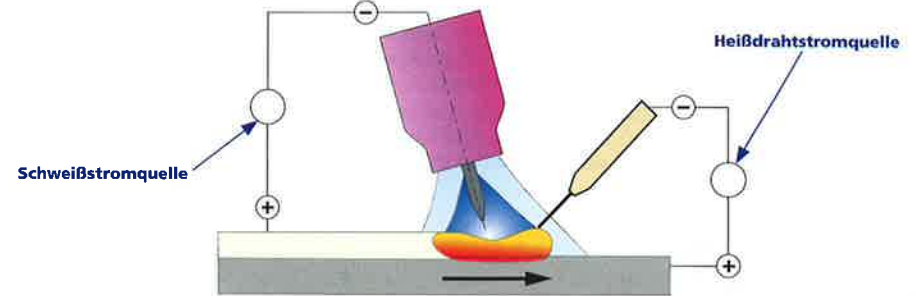


Abb. 1: Schematische Darstellung des WIG-Heißdrahtschweißens: der Schweißstrom und der Heißdrahtstrom werden von jeweils einer eigenen Quelle geliefert, Wolframelektrode und Zusatzdraht sind jeweils mit dem negativen Pol verbunden

Die WIG-Schweißstromquellen haben fallende Kennlinien bei Lichtbogenanspannungen zwischen 9 und 18 V.

Durch die fallende Kennlinie wird beim WIG-Schweißen eine gleich bleibende Stromstärke bei veränderlicher Lichtbogenlänge ermöglicht.

Die für die Heißdrahtversorgung eingesetzten Stromquellen weisen ebenfalls eine fallende Kennlinie auf, sind aber für geringere Schweißstromstärken ausgelegt (150 A bei 100 % Einschaltdauer). Der Zusatzdraht wird wie die Wolframelektrode mit dem negativen Pol der jeweiligen Stromquelle verbunden.

Es ist auch möglich, für die Heißdrahtversorgung Wechselstrom einzusetzen. In diesem Fall muss die Schweißstromstärke der Stromquelle etwas höher gewählt werden (250 A bei 100 % Einschaltdauer). Neben gepulstem Schweißstrom wird oft auch von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, den Heißdrahtstrom zu pulsen. Das Pulsen des Heißdrahtstromes wird dann mit dem Pulsen des Schweißdrahtes synchronisiert. Die beiden unterschiedlichen Stromstärken von Heißdraht- und Schweißstrom werden zusätzlich genutzt, um den gepulsten Drahtvorschub passend zu steuern.

3.3. Schweißströme

Das WIG-Schweißen dickwandiger Werkstücke kann am drehenden Werkstück erfolgen (Werkstück liegend oder in aufrechter Stellung positioniert), bei unhandlichen, nicht oder nur schwierig bewegbaren Werkstücken bietet sich der Einsatz der Orbitaltechnik an.

Die Notwendigkeit, dickwandige Werkstücke mit hohen Schweißstromstärken in Zwangslagen zu schweißen (außer bei Schweißungen an liegend oder stehend positioniertem, drehendem Werkstück), schließt den Einsatz ungepulsten Gleichstromes in praktisch allen Fällen aus. Allerdings werden die Einstellmöglichkeiten der Parameter für den gepulsten Schweißstrom aufgrund der hohen Drahtvorschubgeschwindigkeiten stark eingeschränkt, denn die einwandfreie Ausbildung eines beherrschbaren Schmelzbades muss ja wie beim klassischen Orbitalschweißen kontinuierlich gewährleistet bleiben.

3.3.1. Schleppend geschweißte Strichraupen

Für schleppend geschweißte Strichraupen sollte thermisches Pulsen (ausnahmsweise mit Mono-Impuls) mit einer Frequenz zwischen 2 Hz (optimal) und 1,5 Hz gewählt werden.

Bei höheren Frequenzen ist keine wirksame Synchronisation mit den motorisch erzeugten Bewegungen (Lichtbogenhöhensteuerung, Drahtvorschub) möglich. Niedrigere Frequenzen können bei unglücklich gewählter Schweißgeschwindigkeit als Ursache für Porenbildung während der Abkühlphase in Frage kommen.

Puls- und Grundstromstärke des Schweißstromes sollten zwischen 100 und 150 A liegen. Die Lichtbogenhöhenregulierung sollte während der Abkühlphase aktiv sein, da die Länge der Pulsstromzeit auf keinen Fall 50 % der Periodendauer überschreitet.

Es soll hier auch erwähnt werden, dass bei sehr steif ausgebildetem WIG-Lichtbogen und großen Differenzen zwischen Puls- und Grundstrom das Pulsen des Heißdrahtstromes invertiert werden kann, d. h., dass das Heizen des Drahtes während der Abkühlphase des Schmelzbades erfolgt.

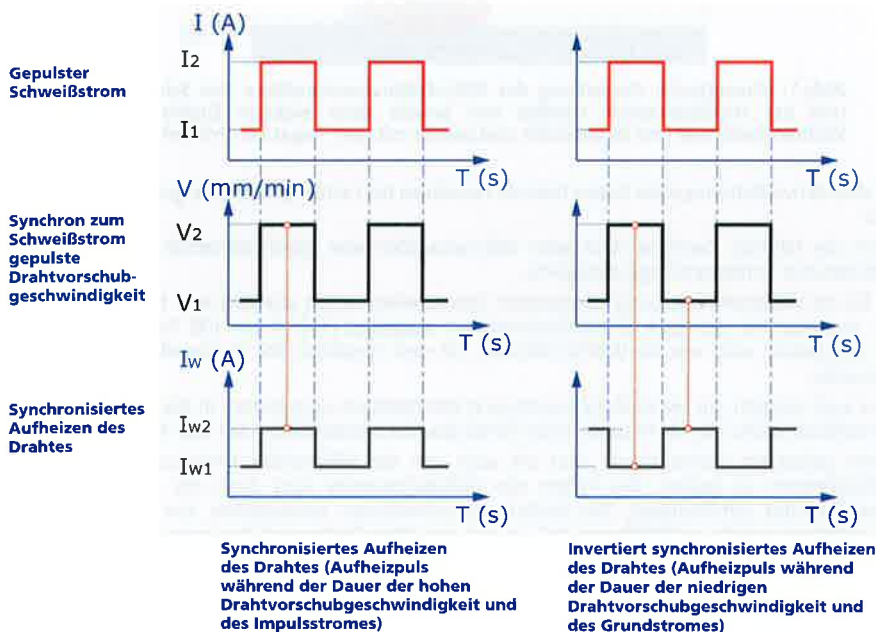
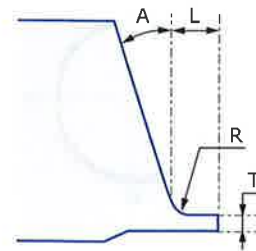


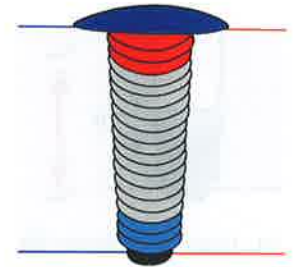
Abb.2: Zum Schweißstrom synchronisiertes oder invertiert synchronisiertes Aufheizen des Zusatzdrahtes

10. Anhang 1 - Anleitung zur Erstellung einer Schweißanweisung zum Engspaltschweißen mit einer Schweißbraupe pro Lage

► Phase 1: Ermittlung der Basisparameter



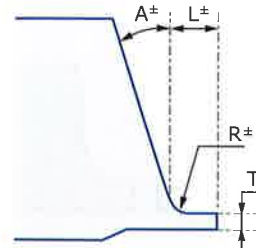
Festlegung der Fugenform, der Schweißfolge und der zugehörigen Parameter



► Phase 2: Einbringen der Nahtwurzel

Festlegen der Bearbeitungstoleranzen der Nahtvorbereitung und der Positioniergenauigkeit der zu schweißenden Werkstücke unter Angabe der Grenzwerte.

Schweißversuche unter wechselnden Randbedingungen.

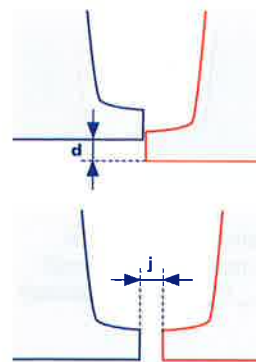


$$L_{\min} + t_{\max}$$

$$L_{\max} + t_{\min}$$

Nominalwerte der Parameter

► Phase 3 : Spiel und Versatz



Parameter d_{\max}

Parameter j_{\max}

Parameter $d_{\max} + j_{\max}$

Durch die Aufprallenergie eines kraftvoll pulsierenden Lichtbogens kann die Genauigkeit der Heißdrahtstromsteuerung bei jedem Puls kurzfristig stark negativ beeinflusst werden (Drahtschläge). Diesem Effekt kann durch das Invertieren der Heißdrahtstrompulse entgegengewirkt werden.

3.3.2. Einbringen von zwei oder mehr schleppend geschweißten Strichraupen in eine Lage

Bei dieser Methode wird eine Schweißlage aus zwei oder mehreren Strichraupen aufgebaut (vgl. nächsten Abschnitt). Für die Einstellung der Parameter gelten die gleichen Überlegungen wie sie bereits für die Einstellung bei schleppend geschweißten Strichraupen vorgestellt wurden, allerdings bei entsprechend niedrigeren Schweißstromstärken.

3.3.3. Pendelung des Brenners / Pendelung der Elektrode

Die Pendelung der Elektrode beim Schweißen großer Wandstärken ist als Weiterentwicklung der bekannten Technik der Brennerpendelung zum Einbringen von Füll- und Decklagen bei konventioneller Schweißnahtvorbereitung zu verstehen.

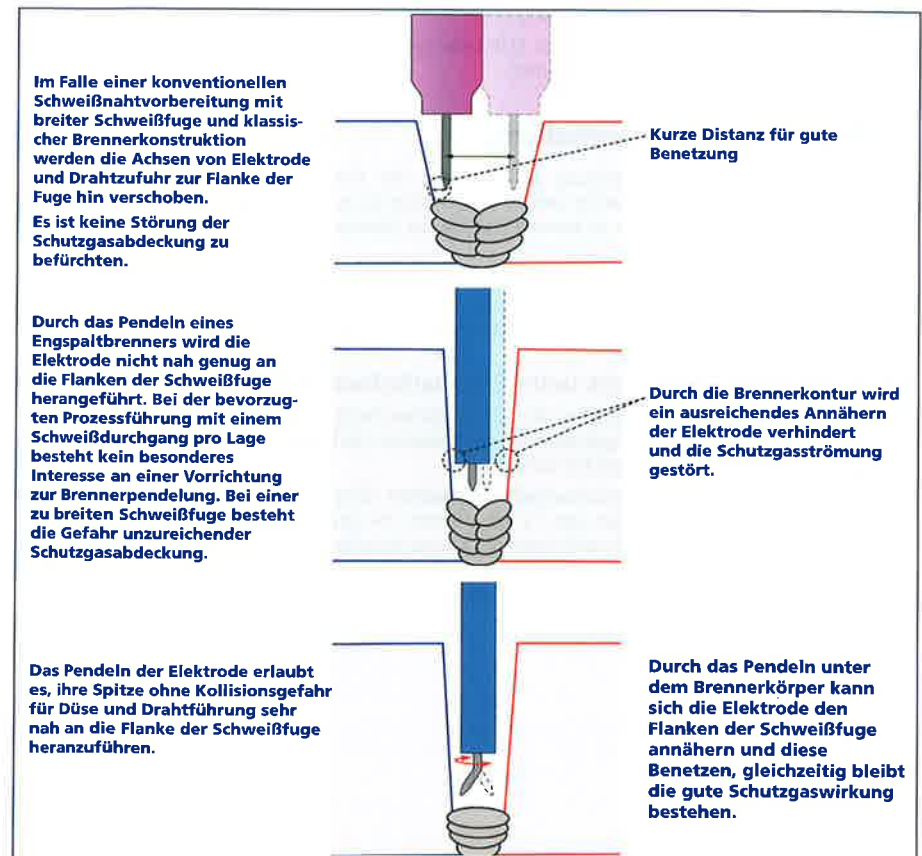


Abb.3: Prinzip und Vorteile des WIG-Schweißens mit gependelter Elektrode

Die Brennerpendelung zum Schweißen der Decklagen wird durch regelmäßige Bewegungen des Brenners quer zur Schweißrichtung erzeugt, während bei Engspaltschweißungen die Wolframelektrode um ihre Achse gedreht wird und ihr abgewinkeltes Ende die Bewegung des Lichtbogens verursacht.

Das Schweißverhalten mit derartig gependelter Elektrode ist dem aus der Orbitaltechnik ähnlich, wenn dabei der Schweißstrom mit der Pendelbewegung synchronisiert wird.

Beim Schweißen mit gependelter Elektrode kann ungepulster Strom eingesetzt werden, wobei die mittleren Stromstärken oft deutlich geringer sind als beim Einbringen schleppend geschweißter Strichraupen. Im Allgemeinen werden bei dieser Technik Wolframelektroden mit einem Durchmesser von 3,2 mm eingesetzt (mittlere Schweißstromstärke 250 bis 300 A).

Die Verweilzeit der Pendelung an den Rändern beträgt etwa 0,3 bis 0,6 Sekunden. Die Lichtbogenstrommessung für die Lichtbogenhöhensteuerung (AVC) ist während der Zeit der Pendelbewegung aktiv.

Eine Lichtbogenstrommessung für die AVC während der Verweilzeit an den Rändern und der Pendelbewegung ist zwar möglich, birgt aber die Gefahr des Hochkletterns der Elektrode an den Rändern, wenn aufgrund mangelhafter Zentrierung des Brenners bezüglich der Mitte der Schweißfuge auf falsche Referenzwerte Bezug genommen wird.

Da das Schweißverhalten mit gependelter Elektrode besser zu kontrollieren ist, wird hierbei keine Inversion des Heißdrahtpulsens vorgenommen.

4. Praktische Anwendung

Das Erstellen einer Schweißanweisung ist stets mit der Frage verbunden, ob der erwartete Effizienzgewinn in der Praxis erreicht werden kann. Dazu ist es notwendig, die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahrensvarianten zu kennen und die zur Lösung der jeweiligen Schweißaufgabe am besten geeignete auszuwählen.

Die möglichen Verbesserungen der Produktivität sind beträchtlich und steigen mit zunehmender Wandstärke. Allerdings muss in jedem Fall geprüft werden, ob die erwarteten Vorteile tatsächlich den mit dem Einsatz des Verfahrens verbundenen Mehraufwand rechtfertigen.

4.1. Produktivitätszuwachs beim Engspaltschweißen

Es gibt mehrere wichtige Einflussgrößen, die den möglichen Produktivitätszuwachs bestimmen, daher muss ein präziser Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Verfahrensvarianten im Hinblick auf die jeweilige Schweißaufgabe durchgeführt werden.

Als Ergebnis vergleichender Untersuchungen verschiedener Schweißmethoden steht z. B. fest, dass bei zu schweißenden Wandstärken von 12 bis 15 mm mit grundwerkstoffabhängig optimiertem Engspaltschweißen gegenüber Schweißungen mit konventioneller Nahtvorbereitung (Öffnungswinkel ungefähr 20°) kein nennenswerter Produktivitätszuwachs möglich ist. Mit zunehmenden Wandstärken steigt die Produktivität, um schließlich bei Wandstärken zwischen 55 und 60 mm den Faktor 3 zu erreichen.

9. Zusammenfassung

Das WIG-Engspaltschweißen sollte nicht länger als Nischenlösung betrachtet werden, es hat sich in der Welt der modernen Fertigungsmethoden einen festen Platz erobert.

Bereits bei zu schweißenden Wandstärken von über 15 mm lohnt es sich, die möglichen Vorteile des Verfahrens in Betracht zu ziehen.

Durch eine mit vergleichsweise geringem Aufwand erstellbare Vorab-Analyse kann geklärt werden, welches Potential die Anwendung des Engspaltschweißens bei der konkreten Fügeaufgabe bietet, ob und welche Gründe gegen einen möglichen Einsatz sprechen und wie eine optimal für den Anwender konfigurierte Anlage aussehen müsste.

Wie die vielen praktischen Beispiele bezüglich des industriellen Einsatzes effizient und rentabel arbeitender Engspaltschweißanlagen zeigen, lohnt es sich immer wieder, aus den zahlreichen zur Verfügung stehenden Varianten diejenige auszuwählen, die die jeweiligen Forderungen bezüglich Mechanisierung, Automatisierung, Flexibilität, Mobilität etc. der Fertigungseinrichtung am besten abdeckt.

Wenn die Entscheidung für eine bestimmte Technologie gefallen ist, sieht sich der Anwender i. A. der recht komplexen, mit verschiedenen Schwierigkeiten verbundenen Aufgabe der Erstellung spezifischer Schweißanweisungen gegenüber. Da hierfür keine allgemeingültigen Lösungen angeboten werden können, ist es durchaus denkbar, sich der optimalen Prozessführung durch schrittweise Weiterentwicklung der einzustellenden Parameter entsprechend den sich aus der Praxis ergebenden Erfahrungen zu nähern.

Für Schweißnahtstärken von 15 bis 300 mm kann darüber hinaus bei Bedarf auf eine Vielzahl von als Sonderanfertigung zur Verfügung stehenden Modulen zurückgegriffen werden, um die gestellte Aufgabe auch in schwierigsten Fällen einwandfrei zu lösen.

Umfassende Kenntnisse des WIG-Schweißens helfen bei der erfolgreichen Umsetzung der Engspalttechnologie und erlauben es, im Falle des Auftretens von Schwierigkeiten auf vorhandene Erfahrungen aufzubauen.

Bei der Einführung der Engspalttechnik hat sich eine Vorgehensweise entsprechend der nachfolgend aufgeführten Liste bewährt:

- Festlegen der für die Einführung der Engspalttechnologie notwendigen Randbedingungen (benötigte Mittel, Infrastruktur, anvisierte Termine, ...)
- Prüfen der für die einwandfreie Prozessführung notwendigen Voraussetzungen (Einhaltung der geforderten Toleranzen, Werkstückvorbereitung, metallurgische Verträglichkeit, ...)
- Sichern der Fertigungskapazität (Beseitigung von Akzeptanzproblemen, Produktivitätsniveau, ...)
- Auswahl und Bereitstellung der Zusatzwerkstoffe
- Spezifizieren der Prozessführung (Arbeitsabläufe, Schweißwerkzeuge, ...)
- Erstellen der Schweißanweisungen und Vorgabe zu beachtender Grenzwerte
- Erstellen der Ausbesserungs- und Reparaturanleitungen
- Ausbildung und Training des Schweißpersonals (Qualifikation der Schweißer, Einweisung an den Maschinen, Instruieren des Wartungs- und Reparaturdienstes)
- Produktionsbegleitende und -fördernde Maßnahmen

Besonders nachhaltig kann die Einführung einer neuen Fertigungsmethode gestaltet werden, wenn gleichzeitig die Effizienz der übrigen damit in Zusammenhang stehenden Abteilungen gesteigert wird, z. B. durch Verbesserung der Zerspanungstechnologie, genauere Rückverfolgbarkeit der eingesetzten Werkstoffe und zuverlässige Qualitätssicherung, wobei hier ähnlich wie bei der Schweißtechnik nach entsprechend strukturierten Listen vorgegangen werden sollte, in denen die durchzuführenden Schritte klar und eindeutig definiert sind.

8.4. Schweißanlagen mit Robotern

Bei roboterbestückten Anlagen zur Bearbeitung von Werkstücken mit Wandstärken von weniger als 45 mm bestehen beim WIG-Engspaltschweißen keine besonderen Einschränkungen bezüglich der einsetzbaren Brennerkonstruktionen. Durch Brenner mit motorisch verstellbarer Schutzgasdüse kann die Produktivität gesteigert werden, allerdings muss auch bei dieser Ausstattung der Elektrodenwechsel manuell durchgeführt werden.

Wenn das Fertigungsspektrum Werkstücke mit größeren Wandstärken umfasst, werden naturgemäß auch die Brenner größer und schwerer und die Roboter müssen Traglasten von 10 bis 50 kg bewältigen können.

Die Verläufe der herstellbaren Schweißnähte hängen in erster Linie vom Brennerprofil selbst ab, allerdings muss auch die Brennerführung durch den Roboter in den drei Achsen passend abgestimmt werden.

Durch den Einsatz eines Engspaltbrenners wird wegen des nur auf manuelle Weise durchzuführenden Elektrodenwechsels der mögliche Automatisierungsgrad der Anlage entsprechend eingeschränkt.

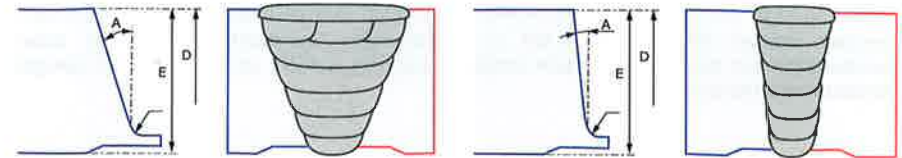
Generell müssen die spezifischen Anforderungen der eingesetzten Roboter und der angestrebte Automatisierungsgrad bereits bei der Konzipierung derartiger Anlagen berücksichtigt werden (Einbeziehung von Portalkränen, zur Versorgung mehrerer Roboter geeignete Schweißstromquellen, Nahtverfolgungssysteme, ...).



Abb. 38: Roboter und Brenner NG-OSC

Klassisches WIG-Schweißen Rohr \varnothing 168 x 13 mm

WIG-Engspaltschweißen Rohr \varnothing 168 x 13 mm



Vorgehensweise: Fülllagen mit gepedeltem Brenner.

Ab einer Schweißnahtstärke von 15 mm werden die gepedelten Lagen immer breiter und das Einbringen ist immer schwerer zu beherrschen.

Ab einer Schweißnahtstärke von 20 mm sollte der Steigungswinkel der Flanke geändert werden (12° bis 10°). Dadurch wird allerdings die Benetzung der Flanken schwieriger. Eine Schweißfuge mit geändertem Öffnungswinkel kann lagenweise mit gepedeltem Brenner bis zu einer Schweißnahtstärke von 30 mm eingesetzt werden. Danach müssen mehrere Übergänge pro Lage geschweißt werden (die Vorgehensweise beim Aufbau der Schweißnaht muss auch dem Geschick des Bedienungspersonals angepasst werden).

Vorgehensweise: Einbringen einer schleppend geschweißten Strichraupe pro Lage.

Da die Schrumpfungsvorgänge in die Prozessplanung einbezogen wurden, können die restlichen Fülllagen mit unveränderten Schweißparametern eingebracht werden.

Verglichen mit dem WIG-Schweißen mit konventioneller Nahtvorbereitung beginnt der Effizienzgewinn beim Engspaltschweißen, sobald sich bei der konventionellen Methode mehrere Übergänge pro Lage nicht mehr vermeiden lassen.

WIG-Schweißen mit gepedeltem Brenner				WIG-Engspaltschweißen	
Rohr- durchmesser - D - (mm)	Rohr- wandstärke - E - (mm)	Steigungswinkel der Flanke - A - (°)	Schweißzeit (min)	Steigungswinkel der Flanke - A - (°)	Kumulierte Schweißzeit (min)
168	13	20	35	10	45
270	28	15	135	4	110
270	25	37/10°	190	/	/

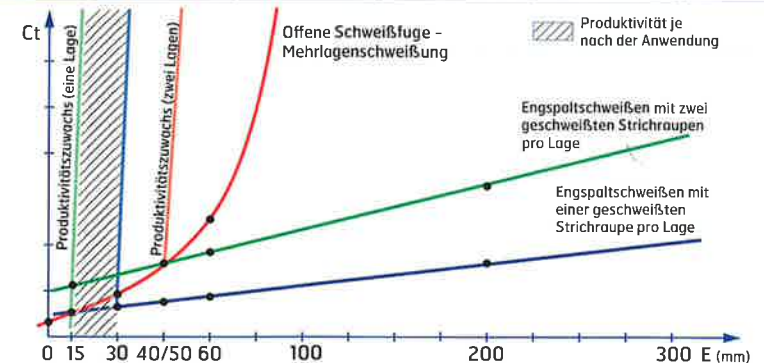


Abb. 4: Produktivitätszuwachs beim Heißdraht-Engspaltschweißen

4.2. Schweißungen bei Wandstärken zwischen 30 und 300 mm

Bei zu schweißenden Wandstärken über 30 mm ist der Einsatz der Engspalttechnik praktisch in allen Fällen anzuraten. Die einzige Ausnahme bilden sehr spezielle Schweißaufgaben in der Einzelfertigung. Trotzdem müssen die Eigenheiten der zu bearbeitenden Grundwerkstoffe und die anderen Randbedingungen der Schweißaufgabe sorgfältig analysiert werden, um die am besten geeignete Verfahrensvariante zu bestimmen.

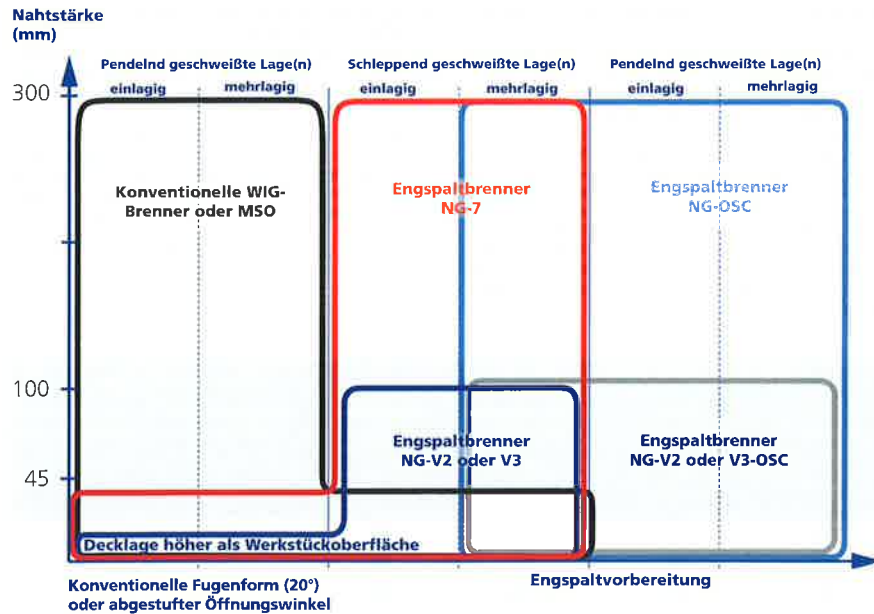


Abb. 5: WIG-Schweißbrenner für Nahtstärken von 30 bis 300 mm

Die aktuell im Angebot der Firma POLYSOUDE enthaltenen Brenner sind für das Engspaltschweißen bei Wandstärken zwischen 30 und 300 mm ausgelegt (Brenner für noch größere Wandstärken können als Sonderanfertigung hergestellt werden).

Die Brenner wurden so ausgelegt, dass sie den Anforderungen des jeweiligen Einsatzgebietes voll entsprechen, die Brennerauswahl wird durch die zu schweißende Wanddicke und die Art der einzubringenden Schweißlagen bestimmt.

Die Gestaltung der Brenner erlaubt es, alle Lagen von der Nahtwurzel (maximale Eintauchtiefe des Brenners in die Schweißfuge) bis zur Decklage einzubringen.

Bei Verwendung von WIG-Brennern konventioneller Bauart für Wandstärken von 0 bis 45 mm muss das Nachstellen des Elektrodenüberstandes nach dem Einbringen von Schweißlagen mit jeweils 5 bis 10 mm Stärke erfolgen.

Die offenen Schweißfahrwerke POLYCAR bieten den zusätzlichen Vorteil, dass sich ihre Laufschiene sowohl zu einer Kreisbahn zusammensetzen lassen, die um das zu schweißende Werkstück gelegt wird, als auch in Form gerader Stücke das Schweißen ebener Bleche ermöglicht. Die Schweißfahrwerke POLYCAR MP werden über einen Reibrollenmechanismus angetrieben und können sich dadurch sogar auf Bahnen bewegen, die aus runden und geraden Schienensegmenten zusammengesetzt sind (Schienenbögen mit Geraden gekoppelt, elliptische Werkstückquerschnitte etc.). Durch die außerordentliche Flexibilität der Schweißfahrwerke POLYCAR MP werden industrielle Anwender in die Lage versetzt, ihre Schweißwerkzeuge den jeweiligen Erfordernissen präzise anpassen zu können.

Abgesehen von generellen Einspareffekten wird mit dem Zugriff auf werkstückspezifisch gestaltete Vorrichtungen einer der Grundforderungen moderner Fertigungstechnik entsprochen.

Zusammen mit geraden Schienen lassen sich die offenen Schweißfahrwerke POLYCAR sehr leicht vor Ort montieren und können dann wie Längsschweißmaschinen eingesetzt werden. Allerdings bietet sich hier die zusätzliche Möglichkeit, auch alle Zwangslagen abzudecken.

8.2. Wandstärken bis zu 100 mm

Als Vorrichtungen zum Befestigen der Schweißwerkzeuge kommen die auch aus dem Bereich klassischer Brennerkonstruktionen bekannten Lösungen zum Einsatz.

Ein besonders umsichtiges Vorgehen wird notwendig, wenn Orbitalschweißungen an Werkstücken vorgenommen werden sollen, die durch ihre Konstruktion fest eingespannt sind und deshalb bei Schrumpfvorgängen nicht nachgeben können (Aufbau hoher Zugspannungen), das Engspaltschweißen sollte in solchen Fällen tunlichst vermieden werden.

8.3. Wandstärken über 100 mm

Die Konstruktion der Schweißwerkzeuge wird in zunehmendem Maße spezifisch auf den vorgesehenen Einsatzzweck ausgelegt, die entstehenden Module können Einsatzgewichte von mehreren hundert Kilogramm erreichen (Schweißvorrichtung zum Fügen von Turbinenrotoren).

Die für das mechanisierte Schweißen derartig großer Werkstücke eingesetzten Anlagen werden bezüglich ihrer Robustheit und Größe der Geometrie und dem zu erwartenden Gewicht der zu bearbeitenden Fügeteile entsprechend dimensioniert.

Angesichts des Gewichtes der Brenner und der Bewegungseinheiten sowie der wegen der hohen Abschmelzraten notwendigen 15 kg fassenden Zusatzdrahtrollen sind für die Aufnahme der Orbitalschweißkomponenten für diese Werkstücke große und kräftig ausgelegte Vorrichtungen nötig, wogegen die offenen Orbitalschweißfahrwerke POLYCAR 60-3 bzw. MP eher zierlich wirken.

Allerdings werden solche Schweißfahrwerke auch in einer schweren Ausführung mit einer Nutzlast von bis zu 80 kg angeboten, sie eignen sich aufgrund des weiten seitlichen Überstandes selbst für Werkstücke aus dem Bereich des Schwermaschinenbaus.

Der Einsatz von Schweißrobotern lohnt sich bei diesen Werkstücken, wenn der Verlauf der Schweißnähte nicht mit Orbitalschweißausrüstungen nachgefahren werden kann oder häufige Wechsel der Werkstückgeometrie flexibel zu handhabende Fertigungsmittel erfordern.



Abb. 37: Schweißkopf für Turbinenrotoren

8.1. Wandstärken unter 45 mm

Die zum mechanisierten oder automatisierten Schweißen von Werkstücken mit Wandstärken unter 45 mm bestimmten Anlagen werden so konzipiert, dass sie den Vorgaben bezüglich der erwarteten Leistung gerecht werden.

Die Stromquellen des Typs P6 HW haben sich als besonders geeignet erwiesen, wenn im Heißdrahtbereich das Einbringen von einer schleppend geschweißten Raupe pro Lage vorgesehen ist oder es um die Versorgung und Steuerung klassischer Orbitalschweißköpfe geht.



Abb. 32: Schweißstromquelle P6 Heißdraht



Abb. 33: Schweißausrüstung zur Montage am Auslegerende



Abb. 34: Offener Orbital-schweißkopf des Typs MU

Die äußerst universell verwendbaren Schweißstromquellen der PC-Serie waren ursprünglich zum Einsatz mit Maschinen zum mechanisierten Schweißen vorgesehen, eignen sich aber durch ihren modularen Aufbau gleichermaßen zur Kontrolle von mit Robotern bestückten Anlagen oder orbitaler Schneidtechnik.

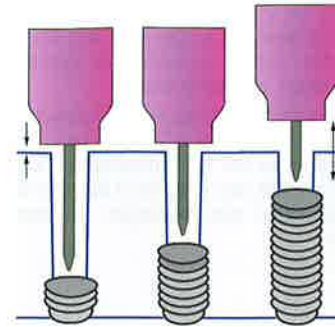
Kundenseitig anpassbare Schnittstellenbausätze ermöglichen es, Komponenten von Orbitalschweißausrüstungen am Auslegerende vorhandener Automatenträger zu montieren. Offene Orbitalschweißköpfe des Typs MU Heißdraht und Orbitalschweißfahrwerke der Baureihe POLYCAR (Version 60.3 – MP) sowie endlos drehbare Kollektorköpfe der Produktfamilie SPX vervollständigen die Produktpalette.



Abb. 35: Schweißfahrwerk des Typs POLYCAR



Abb. 36: Schweißkopf des Typs SPX



Bei Engspaltfugen:

- Einstellen des Elektrodenüberstandes
- Einstellen des Drahtauftreffpunktes
- Die letzten Fülllagen und die Decklage können mit einem unverändert bleibenden minimalen Elektrodenüberstand von 15 bis 20 mm eingebracht werden (Innendurchmesser der Schutzgasdüse 19 mm bei einem Schutzgasstrom von 22 bis 30 l/min).
- Die Schutzgasmenge bleibt im Allgemeinen unverändert

Abb. 6: WIG-Brenner konventioneller Bauart



Diese klassischen Brenner können uneingeschränkt für alle vorkommenden Schweißaufgaben eingesetzt werden. Für Wandstärken von 0 bis 100 mm gibt es eine Zwischenlösung. Die unter dem Namen V2 bzw. V3 angebotenen Brenner verfügen über eine besondere Isolierung und sind so konstruiert, dass das Schutzgas wirksamer zum Grund der Schweißfuge geleitet wird als bei herkömmlichen Brennern. Bei diesem Brennertyp ist allerdings noch keine spezielle Vorrichtung zum Führen der Elektrode vorgesehen.

Bei Eintauchtiefen ab etwa 45 mm verfügen die Brenner über abnehmbare Schleppgasdüsen, die einen besonderen Schutz des Schweißgutes gewährleisten (sie können auch bei pendelnd aufgebrachten Decklagen eingesetzt werden).

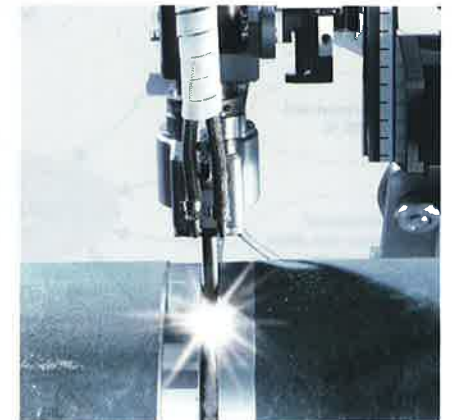


Abb. 7: Engspaltbrenner NG-V2 oder -V3 für Wandstärken von 0 bis 100 mm

Die Brennertypen für Eintauchtiefen von 0 bis 150 mm, von 0 bis 250 mm und schließlich von 0 bis 300 mm sind ebenfalls mit Schleppgasdüsen (wenn nötig abnehmbar) ausgerüstet und können zum Einbringen aller Lagen, einschließlich pendelnd aufgebrachtener Decklagen, eingesetzt werden.

Das gesamte Brennersortiment für das Engspaltschweißen (die Brenner V2 und V3 für Wandstärken von 0 bis 100 mm sowie die Brenner NG für Eintauchtiefen von 0 bis 150 mm, von 0 bis 250 mm und von 0 bis 300 mm) können mit feststehenden oder bewegten Elektroden ausgestattet werden.

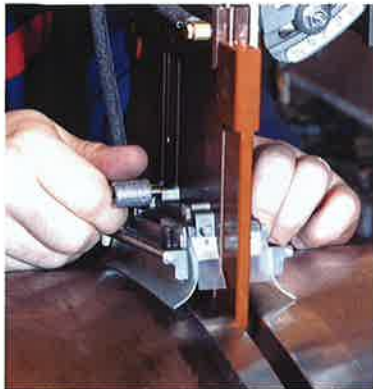


Abb.8: Engspaltbrenner NG-OSC mit Pendelung und Schleppschutzgasdüse

5. Die Gestaltung der Schweißbrenner

Die zweckmäßige Gestaltung der Brenner war ein wichtiger Schritt bei der Entwicklung und Einführung der Technik des Engspaltschweißens.

Die Brenner müssen als Schweißwerkzeug nicht nur den spezifischen Anforderungen des Prozessablaufes genügen, sondern gleichzeitig auch über die notwendigen Sicherheitsreserven verfügen.

Als besonders schwierig erwies es sich bei der Entwicklung, dass trotz fortschreitender Spezialisierung

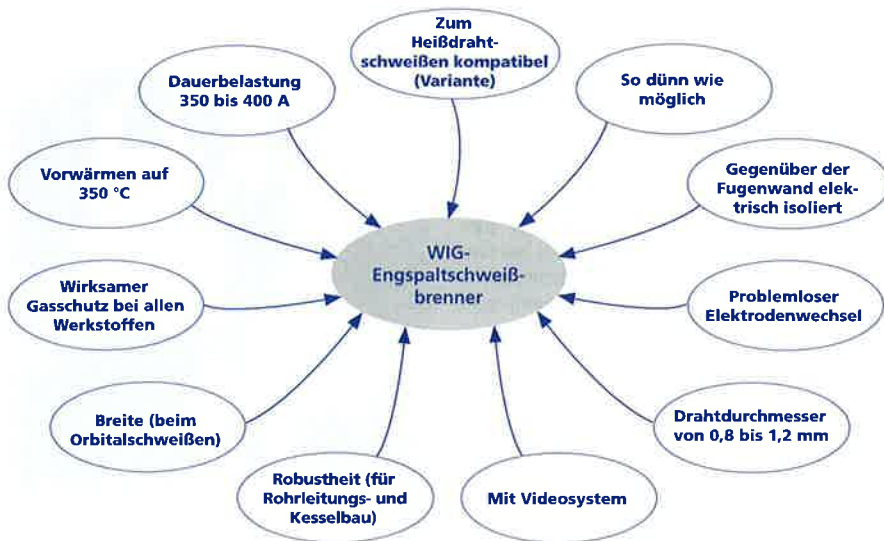


Abb.9: Kriterien für die konstruktive Gestaltung eines idealen WIG-Engspaltbrenners

- ▶ Keine Benetzung der Flanken der Schweißfuge beim Schweißen mit gependelter Elektrode
 - 1 - Einstellung der Schweißgeschwindigkeit prüfen (60 bis maximal 100 mm/min).
 - 2 - Die an den Flanken eingebrachte Energie erhöhen und das Schmelzbad vergrößern (Drahtvorschubgeschwindigkeit heraufsetzen und Heißdrahtstromstärke erhöhen), ohne eine Breite von 2,0 bis 2,5 mm zu überschreiten (außer in Wannelage).
 - 3 - Die Lichtbogenlänge und die eingestellte Lichtbogenspannung kontrollieren.
 - 4 - Die Verweildauer der Pendelbewegung an den Flanken prüfen.
- ▶ Änderung des Benetzungsverhaltens bei den letzten Fülllagen oder der Decklage. Das Einbringen der letzten Fülllagen gestaltet sich oft schwierig, da die Wärmeabfuhr (über die Flanken der Schweißfuge in das Werkstück) nachlässt und durch eine Verringerung der eingebrachten Streckenenergie kompensiert werden muss. Oft ist in dieser Phase zusätzlich eine nachlassende Wirkung der Schutzgasabdeckung (durch Luftwirbel) zu verzeichnen, die das Benetzungsverhalten verschlechtert, ohne dass andere Anzeichen einer Störung zu bemerken wären. Im weiteren Verlauf können dann allerdings Oxidbildungen auftreten, die ihrerseits zu einer Porenbildung in der Schweißnaht führen. Es müssen daher die Vorgaben bezüglich des maximalen Elektrodenüberstandes genau eingehalten werden, zusätzlich ist der Schweißbereich nötigenfalls gegen den Einfluss von Zugluft zu schützen, der u. U. zu Schweißnahtfehlern führen kann (diese Schutzmaßnahmen werden im Bereich des WIG-Schweißens häufig vernachlässigt).
- ▶ Die Benetzung beim Schweißen von Fülllagen mit der Methode des Einbringens von einer Schweißbraue pro Lage lässt zu wünschen übrig und eine Erhöhung der Lichtbogenspannung bringt keine Verbesserung (oder bewirkt sogar eine weitere Verschlechterung). Diese Situation ist an sich nicht ungewöhnlich. Beim Engspaltschweißen werden die Referenzspannungen für die Lichtbogenhöhensteuerung sowohl bei auf die Flanken gerichtetem Lichtbogen als auch bei auf den Grund der Schweißfuge zeigendem Lichtbogen gemessen. Eine sich verengende Schweißfuge führt zu einer Verringerung der Referenzspannungen, was durch die Lichtbogenhöhensteuerung mit einer Vergrößerung der Lichtbogenlänge beantwortet wird. Die durch die Lichtbogenhöhensteuerung initiierte Änderung der Brennerposition und der damit verbundene längere Lichtbogen führen zu einer Verminderung des Lichtbogendruckes auf das Schmelzbad, was mit einer schlechteren Beherrschbarkeit verbunden ist. In diesem Fall müssen im Gegensatz zur üblichen Vorgehensweise (Schweißen bei konventioneller Nahtvorbereitung) die programmierten Werte der Lichtbogenspannungen vermindert werden, um die ursprüngliche Elektrodenposition über dem Schmelzbad wieder herzustellen. Zwei Indikatoren können benutzt werden, um zu beurteilen, ob der beschriebene Sachverhalt tatsächlich vorliegt:
 - 5 - Die Drahtzufuhr ist wegen der am Brenner befestigten Drahtführung ebenfalls verstellt (Auftreten von Drahtschlägen beim Heißdrahtschweißen)
 - 6 - Die konisch ausgebildete Säule im Lichtbogen über dem Schmelzbad ist weniger kraftvoll.

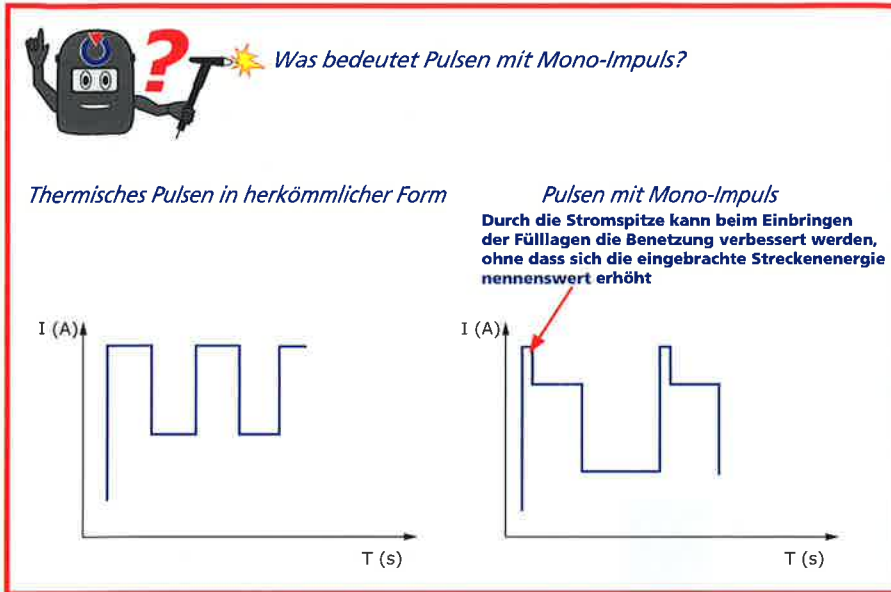
Achtung: wenn sich die Breite der Nahtfuge vergrößert, drehen sich die Verhältnisse um, in diesen Fällen führt die übliche Vorgehensweise zur Einregulierung der Referenzspannungen der Lichtbogenhöhensteuerung (wie beim Schweißen mit konventioneller Nahtvorbereitung) zum Erfolg.

8. Auswahl der Anlagen

Die Art und Form der Werkstücke, ihre Wandstärken sowie die Umgebungsbedingungen der Einsatzorte sind einige der maßgeblichen Faktoren, die bei der Auswahl der jeweiligen Schweißanlage zu berücksichtigen sind.

Die Konzeption der Schweißmaschinen erfolgt dabei im Hinblick auf die einzusetzenden Schweißwerkzeuge. Im Folgenden sollen einige Ausstattungsvarianten zum Schweißen unterschiedlicher Wandstärken an Beispielen klassischer Anlagenkonfigurationen vorgestellt werden.

4 - Das Schweißen mit Mono-Impuls (Pulsdauer 25 bis 50 ms mit Impulsströmen von 30 bis 50 A) kann in einigen Fällen Abhilfe schaffen. Andernfalls muss Zusatzdraht einer anderen Charge eingesetzt werden oder die Lage muss in Form von zwei den halben Umfang überdeckenden Fallnähten eingebracht werden. In diesem Fall sollte eine leichte Neigung der AVC-Achse in Schweißrichtung eingestellt werden (etwa 5°).



- ▶ Beim Arbeiten in der 5 GT Position wird kein akzeptabler Einbrand erzielt (besonders im Fallnahtbereich).
 - 1 - Das spezifische Verhalten beobachten (regelmäßiges Auftreten auf einem Umfang 360° oder an bestimmten Stellen).
 - 2 - Die Stärke einer Lage sollte 2,0 bis höchstens 2,5 mm nicht überschreiten. Die Stärke der Lagen sollte in zunehmendem Maße ihrer Breite angepasst werden (geringe Stärke der Lage bei kleiner Breite und eine Stärke von etwa 2,5 mm bei sehr großer Nahtbreite).
 - 3 - Neigung der AVC-Achse in Schweißrichtung korrigieren (Anstellwinkel verringern), insbesondere wenn das Problem nicht im Steignahbereich auftritt. Allgemein ist ein mangelhafter Einbrand im Fallnahtbereich sehr selten zu beobachten ist. Die Schwierigkeiten sind oft prozessbedingt (das Schmelzbad hält sich oder es fließt ab – wenn es sich hält, ist die Schweißnaht im Allgemeinen akzeptabel). Wenn die Schmelze im Fallnahtbereich sehr leicht zu beherrschen ist, besteht die Gefahr von nur schwer im Schmelzbad auszumachenden Ungängen.
- ▶ Porenbildung (2 GT, 5 GT, 6 GT und bisweilen 1 GT).
 - 1 - Das Pulsen überprüfen und auf ausgeglichene Werte zwischen Pulsstrom, Drahtvorschubgeschwindigkeit beim Drahtpuls und Heißdrahtdrahtstromstärke achten. Die Werte sollten auch in angemessenen Verhältnissen zu den jeweiligen Werten der ungelulsten Größe stehen.
 - 2 - Den Drahtauftreffpunkt beobachten (es ist besonders darauf zu achten, dass der Draht während der Zeit der ungelulsten Parameter nicht in das Schmelzbad eintaucht).

Ausgeglichenes Gesamtkonzept : Um das Funktionieren des Gesamtsystems nicht zu gefährden, dürfen keine unverhältnismäßigen konstruktiven Sondermaßnahmen vorgesehen werden.

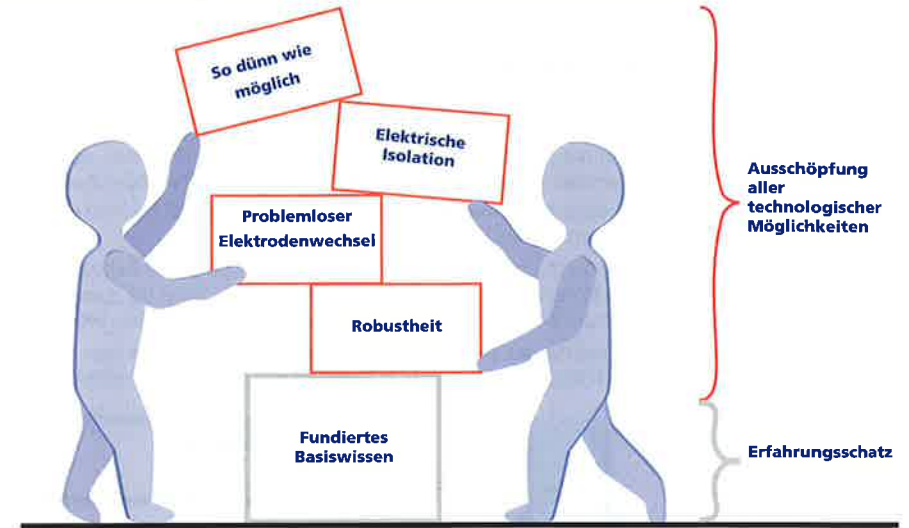


Abb. 10: Eine überzeugende Konstruktion erfordert ein ausgewogenes Gesamtkonzept

- der Brenner die Grundfunktionen uneingeschränkt erhalten bleiben mussten.
- In diesem Zusammenhang ist zum Beispiel die Forderung nach einem robusten, besonders dünnen Brenner mit hoher Einschaltdauer zu nennen, der aber gleichzeitig eine ausreichende elektrische Isolierung gegenüber der die Fuge begrenzenden Werkstückwand aufweisen muss.
- Einige der grundlegenden Forderungen, die bei der Entwicklung der Brenner zu erfüllen waren, sind im Folgenden zusammengefasst:
- Auslegung für Schweißstromstärken von 350 bis 400 A bei 100 % Einschaltdauer
 - Einsatz bei Zwischenlagentemperaturen bis zu 350 °C
 - Möglichst dünner Brenner (von 6 bis 7 mm bei feststehenden Elektroden und kleiner oder gleich 10 mm bei bewegter Elektrode)
 - Einfacher Elektrodenwechsel (Ø 3,2 bis 4,0 mm)
 - Effiziente Schutzgasabdeckung geeignet für unlegierte, niedrig legierte, hoch legierte Stähle sowie Nickelbasislegierungen
 - Vollständige elektrische Isolierung gegenüber der die Fuge begrenzenden Werkstückwand, um eine Prozessunterbrechung bei gelegentlicher unbeabsichtigter Berührung zu vermeiden
 - Der Arbeitsumgebung angepasste, widerstandsfähige Ausführung
 - Leichte Bauweise, um auch in der Orbitaltechnik eingesetzt werden zu können
 - Konstruktion auf der Basis ausgefeilter Konzepte, um die Kompatibilität bis zu Wandstärken von 300 mm und darüber sicherzustellen
 - Möglichkeit, Heißdrahttechnik einzusetzen (zweifache Isolierung)
 - Schweißen mit Zusatzwerkstoff in Form von Drähten mit Durchmessern von 0,8 bis 1,2 mm
 - Möglichkeit der Videoübertragung mit zwei Kameras, so dass der Bereich zwischen Elektrode

und Zusatzdraht im Blickfeld liegt (Überwachung des Eintauchpunktes des Drahtes in das Schmelzbad und des einwandfreien Funktionierens der Lichtbogenhöhensteuerung) und das fehlerfreie Aufschmelzen der Flanken hinter dem Brenner sichtbar wird.

5.1. Die Engspaltbrenner NG-V2 und -V3

Die Konstruktion der Brenner V2 und V3 ist an die der klassischen Schweißbrenner angelehnt. Die aus metallischem Werkstoff gefertigte Schutzgasdüse sorgt für eine gute Schweißgutabdeckung. Der besondere Vorteil dieser Brenner besteht in ihrer einfachen und robusten Bauweise, sie können ohne Schwierigkeiten montiert werden und kommen mit einem Minimum an Wartungsaufwand aus. Der Einsatz dieser Brenner ist allerdings aus den im Folgenden aufgeführten Gründen auf Schweißungen bei Wandstärken von bis zu 100 mm begrenzt.

- ▶ Die Erwärmung der Elektrode durch den Schweißstrom wird stark durch die freie Elektrodenlänge von der Spitze bis zur Kontaktzone an der Spannhülse beeinflusst, daher muss bei zunehmender freier Elektrodenlänge ein entsprechend größerer Elektrodendurchmesser vorgesehen werden.
- ▶ Trotz des langen Elektrodenüberstandes hinter der Spannhülse ist es aus konstruktiven Gründen schwierig, eine einwandfreie Führung der Elektrode in Richtung der Achse der Schutzgasdüse zu

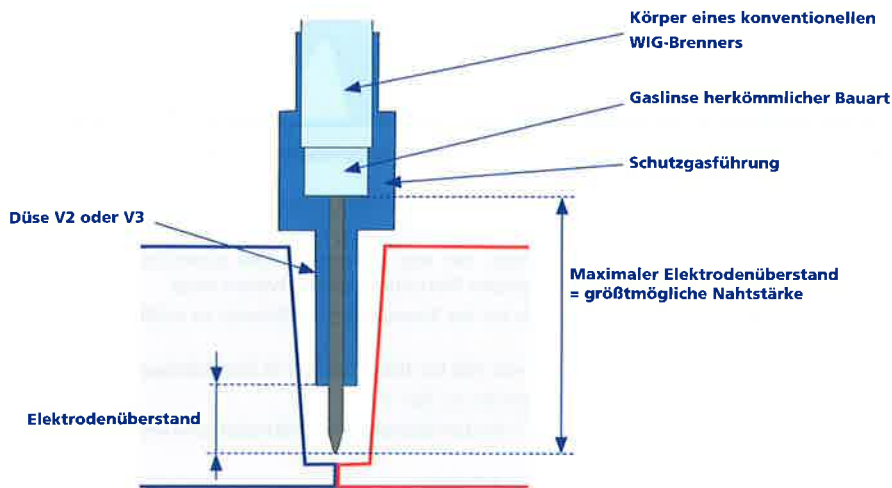


Abb. 11: Schematische Darstellung der Brennertypen V2 und V3

erreichen, denn der Einbau zusätzlicher Führungsvorrichtungen würde einen verwirbelungsfreien Schutzgasfluss stören.

- ▶ Es ist schwierig, Elektroden mit genau vorgegebenen, unterschiedlichen Längen zur Verfügung zu stellen.
- ▶ Bei jedem neuen Anwendungsfeld muss die Konstruktion überarbeitet und angepasst werden. Die Schutzgasdüsen für die Brenner NG-V2 und V3 bestehen aus kupferhaltigem Werkstoff und werden durch einen separaten Kühlkreislauf gekühlt, sie sind in einer Stärke von 7,8 mm hergestellt, können mit Schweißströmen von bis zu 350 A bei 100 % Einschaltdauer betrieben werden und sind für Wolframelektroden mit einem Durchmesser von 3,2 mm vorgesehen.

Während sich bei Engspaltbrennern mit gependelter Elektrode große Übergangsradien als unkritisch erweisen, muss die Stärke des Steges beim Einsatz von Brennern des Typs NG-7 dem jeweiligen Schweißverhalten der Werkstoffe angepasst werden und der Übergangsradius ist zwischen 1,0 und 1,5 mm zu wählen

- ▶ Beim Arbeiten in der 5 GT Position wird im Fallnahtbereich kein ausreichender Einbrand erzielt. Auf dem restlichen Umfang fällt die Breite des Einbrandes relativ gering aus (zwischen 2 und 3 mm). Hierbei handelt es sich um eine Schweißnahtvorbereitung mit zu groß gewählter Stärke des Steges, bei unglücklich eingestellten Schweißstromstärken kann dann durch das Schmelzbad sogar die Flanke der Nahtfuge benetzt werden (mit der Folge einer eingegengten Nahtwurzel und Nahtunterwölbungen). Bei der Schweißnahtvorbereitung muss die Geometrie der Fuge so gestaltet werden, dass der Steg vollständig aufgeschmolzen werden kann und sich gleichzeitig der gewünschte Nahtquerschnitt ausbildet (leichte, nicht übertriebene Nahtüberhöhung), der genügend Stabilität zum Aufnehmen des ersten Durchlaufes für die Fülllagen (Hotpass) mitbringen muss.
- ▶ Beim Arbeiten in der 5 GT Position wird ein akzeptabler Einbrand erzielt, aber der Zusatzdraht kratzt, wenn der Beginn der Steignatzzone erreicht wird.
 - 1 - Prüfen, ob eine ausreichende Neigung der AVC-Achse in Schweißrichtung eingestellt ist.
 - 2 - Die Wurzellage in Form von zwei den halben Umfang überdeckenden Fallnähten einbringen. Wenn das nicht möglich ist, sollte versucht werden, mit Zusatzwerkstoff aus einer anderen Charge zu schweißen. ANMERKUNG: Der Versuch ist auf Fälle beschränkt, bei denen die Schweißraupen mit schleppender Brennerposition eingebracht werden.
- ▶ Beim Schweißen mit schleppend eingestellter Brennerposition fällt das Schweißbad trotz einer Breite zwischen 8 und 9 mm durch.
 - 1 - Die Lichtbogenlänge und die zugehörige Lichtbogenlänge kontrollieren. Bei der Programmierung der Synchronisierung der Lichtbogenhöhensteuerung muss der Grundstrom als Referenz benutzt werden; unterhalb der Lichtbogensäule muss sich an der Oberfläche

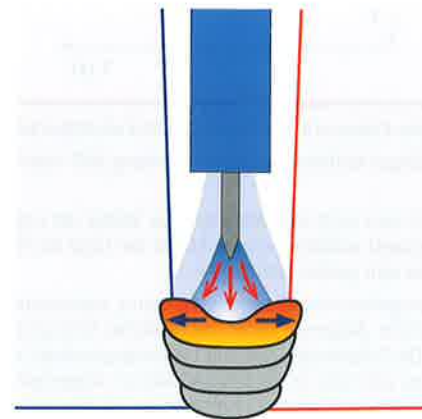
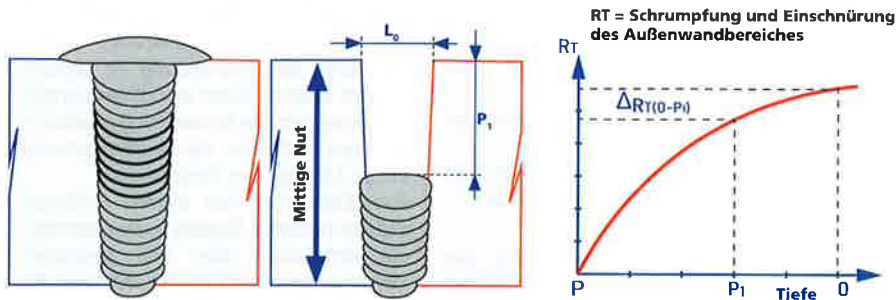


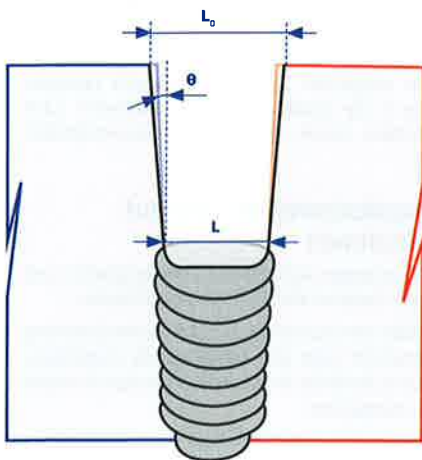
Abb. 31: Durch den Druck der Lichtbogensäule wird eine kelchförmige Vertiefung im Schmelzbad verursacht. Die dadurch im Zusammenwirken mit der vorher eingebrachten, inzwischen erstarrten Schweißlage entstehenden radial nach außen gerichteten Kräfte bewirken eine verbesserte Benetzung der Flanken der Nahtfuge. Im Unterschied zu Schweißungen auf einem ebenen Blech führt in diesem Fall eine Verringerung der Lichtbogenlänge zu einer Verbesserung des Benetzungsverhaltens (wenn alle anderen Parameter unverändert bleiben).

- des Schmelzbades eine kelchförmige Vertiefung bilden (das ist ein Zeichen für einen hohen Lichtbogendruck).
- 2 - Die Neigung der AVC-Achse in Schweißrichtung prüfen. Es sollten 10° nicht überschritten werden, andernfalls kann es auch zu mangelhaftem Einbrand im Bereich der Fallnahtzone kommen.
- 3 - Bei richtig eingestellter Neigung der AVC-Achse in Schweißrichtung könnte die Ursache auch am Schweißverhalten des Zusatzwerkstoffes liegen.

Die Vorgehensweise bei Reparaturen der Schweißnaht hängt von der Brenndauer des Lichtbogens und der geforderten Qualität der Verbindung ab. Statt einzelne Bereiche zu reparieren ist es oft besser, eine Schweißnaht mit defekter Wurzel vollständig herauszuschneiden und neu aufzubauen (außer wenn die Gegenseite der Wurzellage für Reparaturen zugänglich ist oder es sich um manuell ausführbare Reparaturschweißungen von begrenztem Umfang bei mittleren Werkstückdurchmessern handelt). Wenn Benetzungsfehler aufgetreten sind, sollte ein erneutes Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche erfolgen (mit versetzt und zentriert angeordneter Elektrode). Die Reparaturschweißung kann je nach Lage des Fehlers durch Ausschleifen oder Anbringen einer Nut in der Nahtmitte mit Hilfe spanender Bearbeitungsverfahren vorbereitet werden. Voraussetzung zur erfolgreichen Durchführung von Reparaturschweißungen bei mittig oder außermittig angebrachten Nuten ist ein gewisses Maß an Erfahrung (Vorversuche durchführen), denn von dieser Operation werden die Schrumpfvorgänge beeinflusst (je nach Lage der Reparaturschweißung muss u. U. die Steigung der Flanke dem unterschiedlichen Schrumpfverhalten entsprechend angepasst werden).



Bestimmung der Form der Nut für die Reparatur



L = nominale Breite der Fülllage
 θ = nominale Flankenwinkel

$$L_0 = L + \Delta RT + P(0-P_1)$$

- Wenn die Wurzellage auf dem ganzen Umfang einwandfrei ist, wird anhand der Gesamtzykluszeit entschieden, ob ein vollständiges Ausschleifen in Frage kommt,
- Wenn sich die Ungängen ausschließlich an einer Seite der Schweißnaht befinden, kann das Ausschleifen außermittig erfolgen (außer beim Vorhandensein einer Pufferschicht). In den meisten Fällen bringt jedoch ein von der Mitte der Schweißnaht ausgehendes Ausschleifen die schnellste Lösung
- Reparaturen eingegrenzter Bereiche (manuell oder maschinell) sind möglich, wenn sich die Nahtfehler dicht unter der Oberfläche befinden (allerdings ist eine auf dem gesamten Umfang von 360° eingebrachte Nut oft einfacher herzustellen). Die Wahl richtet sich nach der Größe des Werkstückes und der voraussichtlichen Dauer der Reparaturarbeiten.

Das Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche und die Ausschleifoperationen einschließlich der Reparaturschweißungen müssen in der Schweißanleitung aufgeführt sein oder nach Durchlaufen einer zusätzlichen Qualifizierung als Ergänzung hinzugefügt werden.

Abb.30: Vorgehensweise bei notwendigen Reparaturen der Schweißnaht

Als Sonderanfertigung können auch verchromte Schutzgasdüsen geliefert werden, wenn in bestimmten Fällen ein Kontakt der Flanken der Schweißfuge mit kupferhaltigen Werkstoffen nicht erlaubt ist.

Auf Wunsch ist auch eine Ausführung der Düsen in einer Stärke von 9 mm lieferbar, wenn eine Schweißlage aus mehreren Raupen aufgebaut werden soll oder die Stärke des vorgesehenen Schweißstromes Wolframelektroden mit einem Durchmesser von 4,0 mm erfordert.

Die Düsen selbst sind gegenüber dem Brennerkörper elektrisch isoliert, so dass ein eventueller Kontakt mit den Flanken der Schweißfuge keinen Kurzschluss verursachen kann.

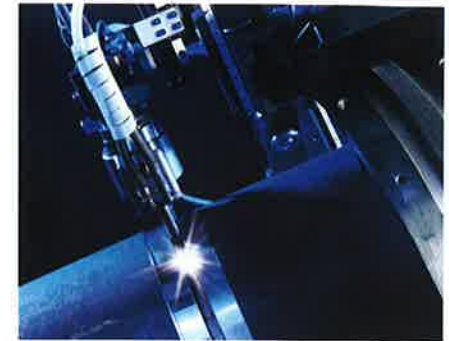


Abb. 12: WIG-Engspaltbrenner

5.2. Engspaltbrenner des Typs NG-7

Die Konstruktion der Engspaltbrenner NG-7 unterscheidet sich von der der Brenner V2 und V3.

Sie sind so ausgelegt, dass die Einschaltdauer unabhängig von der Tiefe der Schweißfuge stets den gleichen Wert behält und vertragen bei vorgewärmten Werkstücken Umgebungstemperaturen bis zu 300 °C.

Bei diesem Brennertyp ist die Spannvorrichtung der Elektrode gegenüber dem Brennerkörper elektrisch isoliert, so dass ein eventueller Kontakt der Schutzgasdüse mit den Flanken der Schweißfuge keinen Kurzschluss verursachen kann.



Abb. 13: WIG-Engspaltbrenner NG-7 mit Führungsvorrichtung zum automatischen Zentrieren in der Schweißfuge

Das herausragende Konstruktionsmerkmal dieses Brennertyps ist die geringe Stärke von nur 7 mm.

Diese Schweißwerkzeuge sind dazu prädestiniert, bei den anspruchvollsten Anwendungen aus allen Gebieten des Engspaltschweißens zum Einsatz zu kommen.

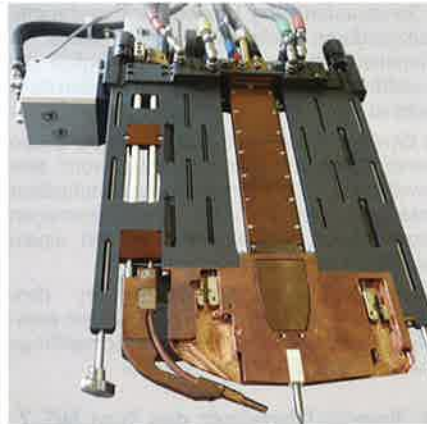
Sie sind gleichermaßen geeignet, bei Schweißfugen mit Breiten von 8,5 bis 9 mm eingesetzt zu werden und eröffnen damit die Möglichkeit, schleppend geschweißte Strichraupen mit der WIG-Heißdrahttechnik in sämtlichen Zwangslagen zu verwirklichen.

Die notwendige Genauigkeit der Führung der Brenner in der Schweißfuge während der gesamten Dauer des Schweißvorgangs verlangt in aller Regel einen Rückgriff auf mechanische Führungsvorrichtungen.

Bei Einsätzen auf dem Gebiet des Orbitalschweißens werden die Brenner mit Führungsvorrichtungen ausgestattet, die den in die Schweißfuge eintauchenden Teil bezüglich der Nahtmitte zentrieren.

Um Kollisionen mit den Flanken der Schweißfuge oder sogar ein Festklemmen im Spalt zu vermeiden, werden die Brenner so auf ihrer Halterung montiert, dass sie sich in drei Achsen frei bewegen können.

Abb.14: WIG-Engspaltbrenner NG-7 mit Führungsvorrichtung zum automatischen Zentrieren in der Schweißfuge. Die Führungsvorrichtungen sind direkt am Brennerkörper angebracht (häufig angewendet bei Orbitalschweißanlagen). Die Elektrode wird in der Mitte der Schweißfuge zentriert. Der Brenner ist beweglich (3° Bewegungsspielraum) auf seinem Träger gelagert. Das System erlaubt allerdings kein außermittiges Schweißen (um außermittig schweißen zu können, müssen die Führungsvorrichtungen demontiert und der Bewegungsspielraum des Brenners eingeschränkt werden).



Der Abstand zwischen dem Brennerkörper und den Flanken der Schweißfuge beträgt in solchen Fällen häufig weniger als einen Millimeter.

Bei Schweißungen am drehenden Rohr werden die Führungsvorrichtungen durch einen in Querrichtung angeordneten Tastmechanismus ersetzt.

Der Brenner ist dann frei beweglich angeordnet (mit einer Rückstellfeder, die quer zur Schweißrichtung wirkt).

Bei dieser Konfiguration dient eine Flanke als Bezug für die Führung und erlaubt es, in eine Lage mehrere Schweißraupen versetzt einzubringen.

Der Tastmechanismus selbst ist auf einem Schlitten befestigt, so dass die Position des Brenners in Bezug auf die Referenzflanke eingestellt werden kann.

5.3. Engspaltbrenner des Typs NG-OSC mit gependelter Elektrode

Die Engspaltbrenner des Typs NG-OSC sind auf die gleiche Weise isoliert wie Brenner des Typs NG-7.

Die Elektrode und der Zusatzdraht werden in eine kreisförmige Bewegung versetzt.

Die kreisförmigen Bewegungen von Elektrode und Draht erfolgen synchron und werden gemeinsam von einem Motor erzeugt.

Ein Getriebe erlaubt es, die Amplituden von Draht- und Elektrodenbewegung getrennt zu regulieren.



Abb.15: WIG-Engspaltbrenner (für Nahtstärken bis 100 mm) mit in Querrichtung angeordnetem Tastmechanismus. Eine Flanke der Schweißfuge dient als Referenz für den am hinteren Ende des Brenners angeordneten Tastmechanismus. Diese Art von Tastmechanismus wird bei Schweißungen mit einem Drehtisch und rotierendem Werkstück eingesetzt (Gefahr des Abdriftens) oder wenn gegenüber der Symmetrieachse der Schweißfuge versetzt angeordnete Raupen eingebracht werden müssen (bei mehreren Überschweißvorgängen pro Lage).

7.6. Reparaturen und Verhalten bei Störungen im Arbeitsablauf

Während der Erstellung der Schweißanweisungen müssen auch Störungen berücksichtigt und eingeplant werden, die nicht in den normalen Arbeitsabläufen vorgesehen sind und eine besondere, den Umständen angepasste Reaktion erfordern. Am häufigsten treten folgende Situationen ein:

Nach Beendigung des Schweißprozesses:

- Eine Unterbrechung des Schweißvorgangs (ausgelöst durch das Bedienungspersonal oder einen Prozessfehler)
- Ein Benetzungsproblem während des Schweißvorgangs
- Das Einbringen einer Schweißraupe oder Lage bleibt unvollständig
- Die Breite der Nahtfuge entwickelt sich nicht entsprechend dem erwarteten Referenzwert.

Nach Beendigung des Schweißprozesses:

- Ablauf der Reparatur entsprechend den Ergebnissen zerstörungsfreier Prüfungen mit manueller Ausbesserung festgestellter Ungenauigkeiten, automatisiert geschweißter Ausbesserung der Ungenauigkeiten, Füllen von durch Ausschleifen von Nahtfehlern mittig oder außermittig angeordneter Nuten, Trennen und erneutes Fügen der Verbindung.

Im Verlauf der Vorversuche müssen die verschiedenen möglichen Störfälle in Betracht gezogen werden, um die dann einzustellenden Parameterwerte in die Qualifizierung einzubeziehen (und nach Möglichkeit in die Schweißanweisung einzubinden) sowie die jeweils anzuwendenden Reparaturmethoden im Voraus festzulegen.

7.7. Typische Schwierigkeiten beim Engspaltschweißen und auf Erfahrungen beruhende Gegenmaßnahmen

Im Folgenden werden einige häufig bei Engspaltschweißprozessen auftretende Schwierigkeiten und die zugehörigen Ursachen angesprochen und zutreffende Gegenmaßnahmen vorgeschlagen:


- ▶ Beim Arbeiten in der 5 GT Position wird ein Überschweißen der Wurzellage zur Einbrandverbesserung ohne Schwierigkeiten durchgeführt und der Nahtquerschnitt zeigt eine befriedigende Ausbildung. Beim ersten Durchlauf für die Fülllagen (Hotpass) wird dann allerdings die Wurzel stark aufgeschmolzen und es sind an einigen Stellen Nahtunterwölbungen zu beobachten.

⇒ Wenn die Einstellung der Schweißparameterwerte richtig erfolgte, sind die aufgetretenen Schwierigkeiten auf ein ungünstiges Verhältnis L/t zurückzuführen.

L = Gesamtbreite der beiden an den Werkstückenden angebrachten Nuten, die zusammengesetzt die Schweißfuge bilden (einschließlich der Übergangsradien)

t = Stärke des Steges

Der Wert der Breite L wird im Allgemeinen dem verwendeten Brennertyp entsprechend festgelegt (9,0 bis 9,5 mm für Brenner des Typs NG-7 und etwa 12,0 bis 13,0 mm bei Engspaltbrennern mit gependelter Elektrode).



Tipps bei Unterbrechungen des Schweißvorgangs während des Einbringens von Fülllagen

Beim Einbringen von einer Schweißraupe pro Lage mit schleppender Brennerposition ist ein Schweißbeginn im Überkopfbereich am schwersten zu beherrschen.

Wenn es zu einer ungewollten Unterbrechung der Schweißung in diesem Bereich kommt, kann es sich als vorteilhaft erweisen, die Schweißung unabhängig vom Auftreten der Unterbrechung in der 12h-Position fortzusetzen.

Zum Einbringen der letzten Fülllagen müssen ohnehin Raupen gelegt werden, die sich nicht über den gesamten Umfang erstrecken, jedoch lässt sich die Startprozedur in dieser Phase wesentlich einfacher beherrschen.

1 bzw. im äußersten Fall 1,5 mm nicht überschreitet. Durch das Aufbringen der gependelten Decklage wird genug Zusatzwerkstoff abgeschmolzen, um die verbleibenden Kanten an beiden Seiten der Schweißfuge einwandfrei zu überdecken, ohne dass es im Bereich der Steignacht zu Unterschneidungen kommt.

Wenn in den Positionen 2G und 6G gearbeitet wird, muss die Decklage aus mehreren Raupen mit schleppender Brennerposition zusammengesetzt werden, sie kann nicht wie in der Position 5 GT durch eine einzige gependelt eingebrachte Lage verwirklicht werden.

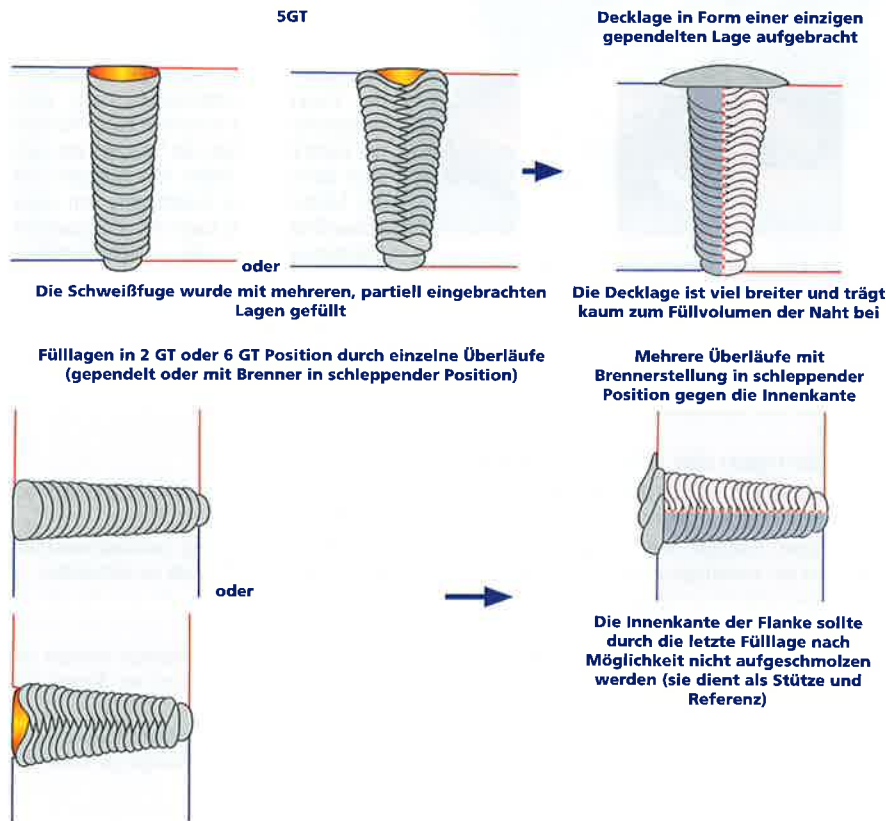


Abb.29: Einbringen der Decklage in Abhängigkeit der Schweißposition

Die Brenner dieses Typs können zum Schweißen mit bewegter Elektrode oder zum Erzeugen schleppend geschweißter Strichraupen mit einstellbarer Elektrodenposition genutzt werden.

Um die Bauelemente zur Erzeugung der komplexen Bewegungen unterbringen zu können, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine Mindestdicke dieser Schweißwerkzeuge von 10 mm nicht unterschritten werden.

Den Vorteilen der Schweißbrenner bezüglich ihrer äußerst flexiblen Einsatzmöglichkeiten stehen allerdings ihr höheres Gewicht und der benötigte größere Arbeitsraum entgegen.

Generell wird der Einsatz eines in Längsrichtung angeordneten Tastmechanismus empfohlen. Allerdings wird die Gefahr von Kollisionen oder einem Festklemmen des Brenners im Spalt durch die Möglichkeit der Regulierung der Amplituden entsprechend den Gegebenheiten der Schweißfuge bereits stark verringert. Außerdem kann die Zentrierung natürlich auch jederzeit mit Hilfe des Querschlitzens manuell nachjustiert werden.



Abb.16: Engspaltbrenner des Typs NG-OSC mit gependelter Elektrode. Die Elektrode ist auf einer drehbaren Schweißblanze befestigt und wird durch den Brennerkörper geführt (isoliert). Die Pendelung der Drahtführung kann durch einen zweiten Antriebsmotor erzeugt oder durch ein Getriebe aus Zahnrädern und Hebeln übertragen werden. Es handelt sich dabei immer um Bewegungen auf einer Kreisbahn. Die Pendelweiten sind einstellbar, die Drahtbewegung kann unabhängig reguliert werden.

5.4. Integrierung einer Videoausrüstung

Die gezielt herbeigeführte Verringerung des Volumens, welches mit dem einzubringenden Schweißgut aufgefüllt werden muss, ist mit verschiedenen Schwierigkeiten verbunden. So lässt sich der Ablauf des Schweißprozesses aufgrund der beengten Platzverhältnisse nicht direkt beobachten.

Je nach Schweißaufgabe treten geringfügig unterschiedliche Problemstellungen auf, von denen einige vorgestellt werden sollen:

- ▶ Die Breite der Schweißfuge beträgt im Allgemeinen nur zwischen 10 und 20 mm, während ihre Tiefe bei 100 bis 300 mm liegen kann.
- ▶ Bei Schweißungen an flachen Werkstücken oder Zylindern mit großen Durchmessern ist es für den Bediener meistens ausgeschlossen, eine Position einzunehmen, die einen ausreichend flachen Blickwinkel ermöglicht.
- ▶ Die Werkstücke mit großen Wandstärken sind in vielen Fällen beim Schweißen vorgewärmt.

Neben den rein technischen Gesichtspunkten spielt auch das Bestreben eine Rolle, die Arbeitsplätze benutzerfreundlich zu gestalten und das Bedienungspersonal auf möglichst großem Abstand zum Lichtbogen zu halten, der ja bei den hier vorhandenen hohen Stromstärken ohnehin außergewöhnlich kräftig ist.

Wenn der Wunsch nach einer Ausstattung der Schweißanlage mit der zur Videoübertragung notwendigen Ausrüstung bereits bei der Auslegung berücksichtigt wird, kann diese so integriert werden, dass das Ergebnis den Erfordernissen des industriellen Umfeldes gerecht wird und die Schweißwerkzeuge trotzdem nicht überfrachtet sind. Nachträglich aufgestellte externe Kameras erwecken meist den Eindruck eines Provisoriums und passen nicht in das Erscheinungsbild moderner Produktionsmittel.

Die grundlegenden Probleme, die im Bereich der Videoausrüstung gemeistert werden müssen, hängen mit den enorm kräftigen elektromagnetischen Störfeldern und den hohen Temperaturen in der Umgebung des Lichtbogens zusammen.

Bei der Kühlung der integrierten Videokameras müssen die Aufnahmemodule durch eine ausreichende thermische Isolierung geschützt werden, gleichzeitig dürfen sie keinen zu großen Temperaturschwankungen ausgesetzt sein. Der Hitzeeinfluss von außen wird durch die vorgewärmten Werkstücke verursacht, während sich von innen die Auswirkungen der praktisch ununterbrochen fließenden hohen Schweißströme und der lang andauernden Schweißzyklen bemerkbar machen.

Es kommt bei dieser Art der Anwendung nicht selten vor, dass die Lichtbogenbrenndauer bei Strömen von 350 A bis zu 80 % der gesamten Betriebszeit der Anlage ausmacht.

Die grundsätzlichen Zielvorgaben bei der Integration der Videoausstattung während der Konzeptionsphase der Anlage können wie folgt beschrieben werden:

- ▶ Übertragung von Videoaufnahmen aus dem vorderen Bereich der Schweißung mit der Elektrode und dem Zusatzdraht, damit das Bedienungspersonal den Auftreffpunkt des Drahtes kontrollieren kann (unabdingbar beim Heißdrahtschweißen).
- ▶ Übertragung von Videoaufnahmen aus dem hinteren Bereich der Schweißung mit möglichst weit reichendem Gesichtsfeld (Kontrolle, ob die Flanken einwandfrei aufgeschmolzen werden).
- ▶ Die Anordnung der Kameras darf auf keinen Fall verhindern, dass das Bedienungspersonal von Zeit zu Zeit einen direkten Blick auf das Geschehen werfen kann. Üblicherweise müssen außerhalb des Brenners vor und hinter dem Schweißwerkzeug angeordnete Kameras so platziert werden, dass sie den Blick versperren und dadurch jegliche direkte Beobachtung des Prozesses ausgeschlossen wird.
- ▶ Trotz der unterschiedlichen Aufnahmepositionen der Kameras müssen die Bilder so wiedergegeben werden, dass beim Blick nach vorn und nach hinten der Eindruck gleicher Größenverhältnisse entsteht.
- ▶ Die optischen Filter dürfen nicht verhindern, dass der Schweißbereich und die Elektrodenposition auch bei erloschenem Lichtbogen erkennbar bleiben.
- ▶ Das Fokussieren der Kameras muss von außen möglich sein.
- ▶ Die Kühlung muss so ausgelegt sein, dass der Kamerachip keinen Temperaturen ausgesetzt wird, die 50 °C übersteigen.
- ▶ Die Blickwinkel der Kameras müssen so groß sein, dass auch das Aufbringen der Decklagen ohne störende Artefakte einwandfrei verfolgt werden kann (Reduzierung des Blickfeldes durch in der Nähe der Objektive befindliche Bauteile wie die Wand der Schutzgasdüse oder der Rahmen der optischen Filter).
- ▶ Die Videoausstattung muss so angeordnet sein, dass sie in der rauen Arbeitsumgebung weitgehend gegen Beschädigungen geschützt ist.

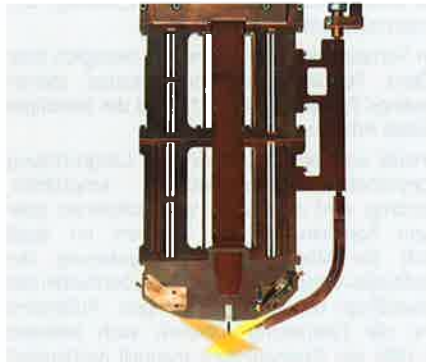


Abb. 17: Montage von Videokameras bei WIG-Engspaltsbrennern der Typen NG-7 bzw. NG-OSC. Die vordere Kamera ist mit einem verschiebbaren Filter ausgestattet (Bildübertragung bei brennendem oder erloschenem Lichtbogen). An der hinteren Kamera ist ein permanent wirkender Filter angebracht. Die Beleuchtung wird mit Hilfe von Lichtleitern sichergestellt.

Schweißen am realen Werkstück bei konstant bleibender Breite der Schweißfuge erfolgen kann. Dadurch können die verschiedenen Lagen bei unveränderten Parametereinstellungen eingebracht werden, was zu einem merklichen Rückgang der Eingriffe des Bedienungspersonals führt und damit zu einer bedeutenden Entlastung beiträgt. Eine gleich bleibende Breite der Schweißfuge sollte sich idealerweise sowohl bei der Methode des Einbringens von einer Schweißbraupe pro

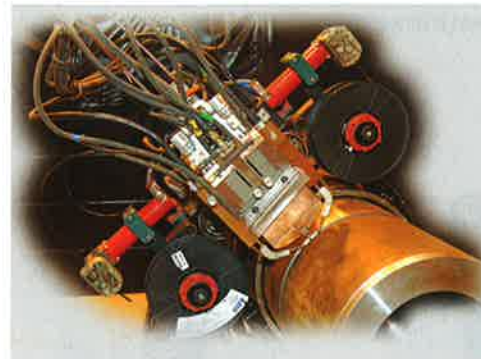


Abb. 28: Mit zwei Drahtvorschubeinheiten ausgestattete Anlage zum Einbringen von zwei den halben Umfang überdeckenden Fallnähten

Lage mit schleppender Brennerposition als auch beim Einbringen von jeweils einer Lage mit gependelter Elektrode ergeben. Eine gleich bleibende Fugenbreite ist als Grundvoraussetzung anzusehen, wenn mit einer Strichraupe pro Lage gearbeitet werden soll. Bei den anderen Methoden erzwingt eine sich ändernde Fugenbreite ein ständiges Anpassen der Parametereinstellungen nach dem Fertigstellen jeder einzelnen Lage. Ähnlich wie beim Einbringen der Wurzel kann sich auch beim Schweißen von Fülllagen mit der Methode des Einbringens von einer Schweißbraupe pro Lage mit schleppender Brennerposition die Notwendigkeit ergeben, die Lagen in Form von zwei den halben Umfang überdeckenden Fallnähten zu bilden. Angesichts der Anzahl der

einzubringenden Fülllagen ist es dann besonders wichtig, eine Anlage zur Verfügung zu haben, die für die Lösung dieser Aufgabe ausgelegt ist (Brenner mit vorderer und hinterer Drahtzuführung oder zwei Schweißköpfe, die jeweils den halben Umfang bearbeiten).

7.4. Einbringen der letzten Fülllagen

Gegen Ende des Einbringens der Fülllagen verändert sich die Wärmeabfuhr im Werkstück und kann zu übermäßigem Einbrand oder sogar zum Abschmelzen der Flanken führen.

Bei den letzten Fülllagen müssen daher Streckenenergie und Abschmelzleistung zurückgenommen werden, um ein vorzeitiges Abschmelzen des oberen Teils der Flanken der Nahtfuge zu vermeiden.

Eine unangepasste Prozessführung in der 5 GT Position kann zu ungenügender Durchschweißung besonders im Fallnahtbereich führen.

Beim Schweißen von Werkstücken mit sehr großen Wandstärken in der 5 GT Position werden oft Lagen eingebracht, die nicht über den gesamten Umfang ausgedehnt werden, um vor Beginn der Decklage für eine gleichmäßige Füllhöhe zu sorgen.

Diese Situation ist als normal anzusehen und wird durch den Einfluss der Schwerkraft verursacht, die den Querschnitt der einzelnen Schweißbrauen während des gesamten Füllvorgangs sukzessiv beeinflusst.

7.5. Aufbringen der Decklage oder Überschweißen zur Verbesserung des Nahtaussehens

Zum erfolgreichen Aufbringen der Decklage gehört es, der Schweißnahtoberfläche ein ästhetisch ansprechendes Aussehen zu verleihen.

Als Voraussetzung dazu muss das Schweißgut während des Einbringens der letzten Fülllagen in der gesamten Schweißfuge so verteilt werden, dass der Höhenunterschied zur Werkstückoberkante

Dadurch soll bei dem ersten Durchlauf für die Fülllagen (auch unter dem Namen Hotpass bekannt) ein völliges Wiederaufschmelzen der Nahtwurzel verhindert werden.

Für das Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche werden Wolframelektroden mit abgewinkelter Spitze eingesetzt, damit die Richtung des Lichtbogens auf den Rand der Schweißfuge gerichtet wird.

Durch die beiden Durchläufe zum Glätten der Nahtoberfläche wird das Benetzungsverhalten der nachfolgenden Lage verbessert, dabei ist gleichzeitig eine verstärkte Schrumpfung zu verzeichnen.

Bei sehr schwer schweißbaren Stahlarten und großen zu verschweißenden Wandstärken kann es vorkommen, dass das Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche zwei bis drei Mal wiederholt werden muss, um eine einwandfreie Wurzellage sicherzustellen.

Das Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche kann auch beim Einbringen der Fülllagen zwischengeschaltet werden, falls an einigen Stellen keine vollständige Benetzung stattgefunden hat.

7.3. Fülllagen

Das Einbringen der Fülllagen ist die umfangreichste Aufgabe beim Herstellen einer Engspaltschweißverbindung.

Unabhängig von der eingesetzten Methode gilt es, bei der Erstellung der Schweißanweisung zwei vorrangige Ziele im Auge zu behalten:

- ▶ Die Grundeinstellungen der Schweißparameter so festzulegen, das nicht nur die gewünschte Produktivität des Prozesses sichergestellt ist, sondern auch eine dem Schweißverhalten der Werkstoffe entsprechende Verbindungsqualität erreicht werden kann. Dazu muss ausgeschlossen werden, dass der Einfluss einzelner Werkstoffeigenschaften, obwohl innerhalb der festgelegten Toleranzen, so groß wird, dass das Gesamtergebnis darunter leidet. Es ist daher in jedem Fall kritisch zu prüfen, inwieweit die metallurgischen Eigenschaften der beteiligten Werkstoffe eine gezielte Anpassung der Prozessführung erforderlich machen (Parametereinstellungen, Schutzgasauswahl, ...).



Wie werden abgewinkelte Elektroden hergestellt?

- Nach Möglichkeit Wolframelektroden mit einem Durchmesser von 3,2 mm auswählen
- Einen Spitzenwinkel von 25° anschleifen
- Eine Elektrode auf einer Werkbank zwischen den Backen eines Schraubstockes einspannen
- Den Konus an der Spitze der Wolframelektrode überstehen lassen
- Den überstehenden Teil mit einem Acetylenbrenner erwärmen, bis er orangefarben leuchtet oder Rotglut erreicht ist
- Die gewünschte Gestalt durch Schmieden mit einem Formwerkzeug oder Stempel herstellen
- Der Winkel zur Elektrodenachse soll etwa 40° bis 45° betragen
- Ein Exemplar als Vorlage (Modell) aufbewahren.

- ▶ Meistern der Schrumpfvorgänge durch Erfassen der Auswirkungen von Änderungen der Parametereinstellungen und der Werkstoffeigenschaften. Durch Vorversuche sollen die Auswirkungen der Schrumpfvorgänge beim Abkühlen der Naht ermittelt werden, so dass das

Während sich die Kameras im oberen Teil des Brenners befinden, sind die zugehörigen Objektive zusammen mit jeweils einem Prisma im unteren Teil angeordnet. Die Prismen sind Maßanfertigungen und erlauben es, den Blickwinkel entsprechend der jeweiligen Brennerkonstruktion anzupassen.

Hinter jedem der beiden Objektive ist ein besonderes optisches Bauelement eingesetzt, das ebenfalls auf Maß gefertigt wird und das Bild zum Aufnahmechip der zugehörigen Kamera weiterleitet. Für die vordere Kamera ist ein zusätzlicher Schiebemechanismus in den Brennerkörper eingebaut, der es erlaubt, zwischen den Modi „mit brennendem Lichtbogen“ bzw. „mit erloschenem Lichtbogen“ hin- und herzuschalten.

Das Umschalten erfolgt automatisch und kann wie jede andere Funktion der Anlage im Rahmen der Programmierung der Schweißzyklen per Software gesteuert werden oder es wird durch das Eintreffen des Brennerschutzgases ausgelöst.

Die bei erloschenem Lichtbogen notwendige Zusatzbeleuchtung erfolgt mit einer außen an der Anlage (Orbitalschweißkopf, Auslegerende eines Automatenträgers) angebrachten Lichtquelle (Hochleistungs-LED), deren Strahlen durch einen im Brennerkörper verlegten Lichtleiter bis zur Schweißstelle geführt werden.

Störende Schattenbildungen werden durch eine gezielte Aufteilung des in den vorderen und hinteren Bereich geleiteten Lichtstromes vermieden.

Zum Einsatz mit den Engspaltbrennern des Typs NG-V2 und -V3 bei Wanddicken bis zu 100 mm stehen einfachere Versionen der Video-ausrüstung zur Verfügung.



Abb. 18: Montage von Videokameras bei WIG-Engspaltbrennern der Typen V2 und V3

Die in diesen Fällen als nicht unbedingt zwingend notwendig angesehene Videoausrüstung kann auch nachträglich hinzugefügt werden. Die einzelnen Komponenten sind zwar weniger stark in die Anlage integriert, bieten dafür aber den Vorteil, mit mehreren Brennern eingesetzt werden zu können.

Als Folge der geringeren Integration ist allerdings auch ein geringerer Wirkungsgrad der Kühlung zu verzeichnen.

Die hier eingesetzte Videoausrüstung wird mit Flüssigkristallfiltern ausgestattet, wie man sie auch in den für den Gebrauch durch die Schweißer vorgesehenen Schutzmasken findet.

Diese Filter erleichtern die Handhabung und erhöhen den Bedienungskomfort bei der Einstellung der Bildwiedergabe.

Aufgrund technischer Schwierigkeiten bei der Miniaturisierung der Flüssigkristallfilter ist es momentan noch nicht möglich, diese Bauelemente in die Brennerkörper der Schweißwerkzeuge für Wandstärken von 150 bis 300 mm zu integrieren.

Wie schon in den vorherigen Kapiteln erwähnt muss jede Brennerkonstruktion den speziellen Anforderungen der jeweiligen Aufgabenstellung genügen und ist daher auf das Schweißen bestimmter Wandstärkenbereiche beschränkt.

Umgekehrt können die jeweiligen Schweißoperationen nur dann erfolgreich durchgeführt werden, wenn die innerhalb der durch die Konzeption der Anlagen vorgegebenen technischen Randbedingungen respektiert werden.

Als Beispiel sei der Fall motorisch justierbarer Schutzgasdüsen bei konventionellen Schweißbrennern angeführt.

5.5. Sonderfall konventioneller WIG-Schweißbrenner mit motorisch verstellbarer Schutzgasdüse

Bei der Durchführung von Schweißungen an Werkstücken mit großen Wandstärken, die den Einsatz von Engspaltbrennern und eine Videoausrüstung erfordern, ist der Elektrodenüberstand ein wichtiger Parameter, der der Kontrolle bedarf.

Die vorn und hinten in den Engspaltbrenner eingebauten Kameras ermöglichen nur einen festen Blickwinkel (um die Anzahl der notwendigen Eingriffe durch das Bedienungspersonal zum Justieren der Anlage so gering wie möglich zu halten). Daher muss die Elektrodenposition stets die gleiche bleiben, um zu verhindern, dass das Schmelzbad in den nicht durch die Kameras einsehbaren Bereich verlagert wird.

Der Elektrodenüberstand hat bei Engspaltbrennern eine bestimmte, konstruktiv vorgegebene Länge. Dadurch ergeben sich folgende Vorteile:

- ▶ Das Schmelzbad bleibt stets im durch die Kameras einsehbaren Bereich.
- ▶ Der Eintauchpunkt des Zusatzdrahtes befindet sich immer an derselben Stelle (und die Auswirkungen einer Justierung der Parameter des Drahtvorschubs auf den Prozess bleiben immer gleich).
- ▶ Die Schutzgasabdeckung behält immer die gleiche Qualität (wenn die vorgegebenen Durchflussmengen eingehalten werden).

Wenn eine Schleppschutzgasdüse verwendet wird, muss der korrekte Elektrodenüberstand bei allen Lagen kontrolliert werden (von der Wurzel- bis zur Decklage).

Wenn die zu schweißenden Wandstärken unter 45 mm bleiben ist es oft einfacher, konventionelle Brennerkonstruktionen zu verwenden und nur die Elektrode und die Drahtführung in die Schweißfuge eintauchen zu lassen.

Dabei ist es gängige Praxis, dafür zu sorgen, dass der Abstand zwischen der Werkstückoberfläche und der keramischen Schutzgasdüse nicht größer als 10 mm wird, um das Eindringen von Luftwirbeln zu unterbinden.

Das Einhalten dieser Vorgabe macht es erforderlich, den Elektrodenüberstand beim Schweißen der Fülllagen nachjustieren, wenn jeweils 4 Schweißraupen übereinander gelegt sind. Die Position der Drahtführung wird bei dieser Gelegenheit ebenfalls neu eingestellt.



Nachregulieren von Parameterwerten beim Schweißen:

- L-Einstellung bei konventionellen WIG-Brennern
- L als fester Wert bei Brennern der Typen NG-V2 (-V3), NG-7 und NG-OSC
- Einstellung von Schleppschutzgasvorrichtungen



Bei WIG-Schweißbrennern herkömmlicher Bauweise ohne Videoübertragung muss der Elektrodenüberstand nachreguliert werden, um eine ungenügende Schutzgasabdeckung zu vermeiden.

Bei Engspaltbrennern ist die Länge des Elektrodenüberstandes einstellbar, jedoch ist es im Verlauf des Einbringens des Schweißgutes bei den letzten 45 mm der Nahtstärke nötig, den Engspaltbrenner durch einen WIG-Brenner herkömmlicher Bauart zu ersetzen oder eine Schleppschutzgasdüse zu montieren, an der nach dem Legen von jeweils 2 oder 3 Raupen eine Höhenkorrektur vorzunehmen ist.

In diesen Fällen muss entweder eine Anlage benutzt werden, die mit zwei Drahtvorschubeinheiten ausgestattet ist, oder es muss ein reversibel anzubringender Schweißbrenner (durch Drehen des Brenners um 180° wird die Vorwärtsrichtung umgekehrt) eingesetzt werden, so dass die Wurzellage in Form von zwei den halben Umfang überdeckenden Fallnähten eingebracht werden kann.




Wie reagieren, wenn das Verhältnis P/L mit der von der Engspalttechnik vorgegebenen Breite der Nahtfuge nicht vereinbar ist?

Die Wurzellage sollte in Form von zwei den halben Umfang überdeckenden Fallnähten eingebracht werden.

7.2. Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche

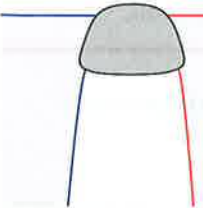
Das Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche erfolgt in zwei Durchläufen ohne Zusatzdraht, dabei wird der Lichtbogen auf die Übergänge zwischen der Wurzellage und den Flanken der Nahtfuge gerichtet.

Das Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche wird im Allgemeinen nach dem Einbringen der Wurzel mit der Methode des Legens von einer Schweißraupe pro Lage durchgeführt.

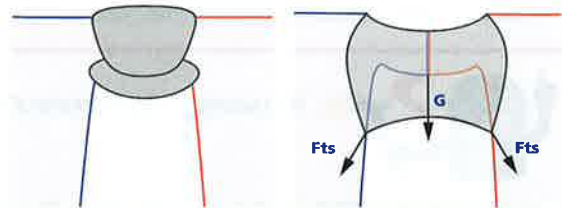


Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche

Wenn sich bei einer durchgeschweißten Wurzellage keine Unterwölbung zeigt, besteht die Gefahr eines mangelhaften Einbrandverhaltens oder des Wiederaufschmelzens beim Einbringen der folgenden Lage (Hotpass oder erster Durchlauf für die Fülllagen).



Gefahr mangelnden Einbrandverhaltens

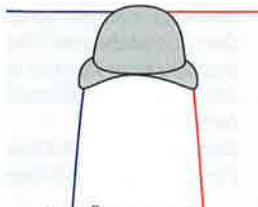


Völliges Wiederaufschmelzen mit Nahtunterwölbung (Effekt wie beim Überschweißen zur Einbrandverbesserung)

Die beiden Ränder der Naht werden übergeschweißt, dadurch kann der folgende erste Durchlauf für die Fülllagen ohne Wiederaufschmelzen der Nahtwurzel durchgeführt werden. Durch das Überschweißen wird die Form der Nahtoberfläche so eingestellt, dass eine bessere Benetzung der folgenden Lage ermöglicht wird.

Durch das Überschweißen wird eine zusätzliche Schrumpfung des Nahtbereiches verursacht und dadurch der Wert des Verhältnisses P/L verbessert, so dass ein erneutes Aufschmelzen beim Einbringen der folgenden Lage unterbleibt.


Wie wird das Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche durchgeführt? Mit Hilfe abgewinkelter Elektroden.



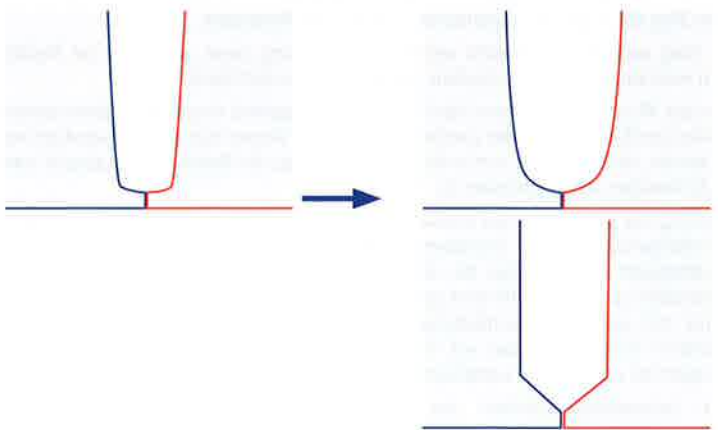
Zweimaliges Überschweißen zum Glätten der Nahtoberfläche

Schweißen kann, unabhängig von seiner normgerechten Zusammensetzung, zum Erfolg oder Scheitern der zu lösenden Schweißaufgaben entscheidend beitragen. Bei der Auswahl des Zusatzdrahtes sind zu berücksichtigen: das Fließverhalten der Schmelze (Schmelzbad zu flüssig oder zu zäh), die mechanischen Eigenschaften des Drahtes (bei zu großer Elastizität sind Schwierigkeiten bezüglich des Drahtvorschubs zu erwarten), keine übermäßigen Oxidablagerungen. Bei flüchtiger Betrachtung mögen die Vorgaben bezüglich des Zusatzdrahtes zunächst als übertrieben erscheinen, aber bei der Durchführung der Vorversuche zur Erstellung der Schweißanweisungen wird immer wieder überraschend deutlich, welcher großen Einfluss die aus verschiedenen Chargen stammenden Zusatzmaterialien bei sonst unveränderten Parametern auf das Schweißergebnis haben. Da das Schweißverhalten des Zusatzdrahtes mit relativ geringem Aufwand kontrolliert werden kann, sollten schlecht verarbeitbare Chargen gekennzeichnet und nicht mit anderen, besser einzusetzenden gemischt werden. Die Herstellerangaben auf den Zusatzdrahtrollen sollten sorgfältig beachtet werden. Es hat sich außerdem bewährt, die Vorversuche zur Erstellung der Schweißanweisungen unter Verwendung einer vorab gelieferten Materialprobe durchzuführen (als Voraussetzung zum späteren Einkauf dieser Charge).

- ▶ Wenn keine Gefahr einer Unterwölbung der Nahtwurzel besteht (Schweißung in Wannenlage oder Stumpfschweißen am stehend positionierten Werkstück), kann die Form des Steges angepasst werden und statt eines Übergangs mit Radius eine flächige Geometrie gewählt werden. Dadurch lässt sich ein Überschweißen der Wurzellage zum Glätten der Oberfläche vermeiden. Beim Engspaltschweißen kann der Fall eintreten (beim Einbringen von ein oder zwei Schweißraupen pro Lage), dass es aufgrund der Prozessführung unmöglich ist, einen Umlauf von 360° in einem Durchgang zu schweißen. Im Allgemeinen treten die Schwierigkeiten in der 5 GT Position auf. Dabei ist es im Verlauf der steigend geschweißten Naht nicht möglich, das Schmelzbad zu halten.



Gestaltung der Nahtfugen, wenn keine Gefahr einer Unterwölbung besteht:
Wenn keine Gefahr einer Unterwölbung der Nahtwurzel besteht (Schweißung mit Badsicherung oder Stumpfschweißen am stehend positionierten Werkstück), kann die Form des Steges vereinfacht werden.



Bei Verwendung einer Schleppschutzgasdüse ist es sogar angebracht, die Höhenkorrektur derselben noch häufiger durchzuführen (nach dem Legen von jeweils 2 oder 3 Raupen), um eine konstante Schutzgasabdeckung zu gewährleisten.

Die Einstellungen werden bei den Schweißungen standardmäßig durchgeführt und können in Fällen lang anhaltender Schweißzyklen mit einem vorsorglichen Elektrodenwechsel verbunden werden.

In besonderen Fällen, wenn die Wandstärke des Werkstückes variiert oder ein besonders hoher Automatisierungsgrad der Anlage vorliegt, können konventionelle Brennerkonstruktionen mit programmierbarer, motorisch bewegter Schleppschutzgasdüse eingesetzt werden. Neben dem Vermeiden häufiger manueller Eingriffe wird bei dieser Konfiguration die Position der Elektrode



Abb.19: WIG-Brenner mit motorisch verstellbarer Schutzgasdüse. Bei diesen WIG-Brennern entfällt das sonst notwendige manuelle Nachstellen des Elektrodenüberstandes.

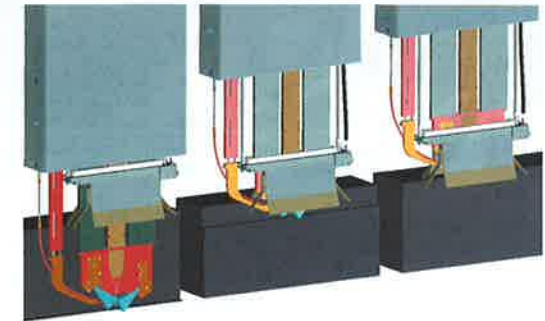


Abb.20: Hoher Automatisierungsgrad bei einem WIG-Brenner mit motorisch verstellbarer Schleppschutzgasdüse zum Einbringen der letzten Fülllagen und der Decklage

nicht verändert und bleibt damit im Blickfeld außen angebrachter Videokameras.

Es gibt auch Anwendungsfälle, bei denen die Bewegung der an Engspaltbrennern montierten Schleppschutzgasdüsen motorisch erzeugt wird.

5.6. Tests zur Freigabe eines Engspaltbrenners (NG)

Der WIG-Brenner ist ein äußerst komplexes Werkzeug, das während der Schweißung hoch beansprucht wird und einen großen Einfluss auf die Qualität der gefügten Verbindung ausübt. Aus diesen Gründen wurden Testmethoden entwickelt, die es erlauben, die maßgeblichen Funktionen der Brenner zu prüfen und sicherzustellen, dass keine die Zuverlässigkeit der Verbindung gefährdenden Ausfälle zu befürchten sind.

Das grundlegende Augenmerk bei der Entwicklung der Brenner wird auf folgende Faktoren gelegt:

- Die Einschaltdauer (alle Konstruktionselemente der Brenner werden auf ihre Dauerhaftigkeit untersucht und nur dann zugelassen, wenn während der gesamten Lebensdauer des Schweißwerkzeuges keine Ausfälle zu befürchten sind),
- Die Qualität der Schutzgasabdeckung bei der Schweißung.

Jeder neu- oder weiterentwickelte Brennertyp wird vor seiner Zulassung den entsprechenden Tests unterworfen, um die Zuverlässigkeit bestimmter Funktionen wie der Videoübertragung oder der Schutzgaswirkung sicherzustellen.

Besonders harte Testmethoden werden angewendet, wenn eine ganze Brennerbaureihe zur Zulassung ansteht oder bedeutende Weiterentwicklungen der Schweißwerkzeuge gelungen sind.

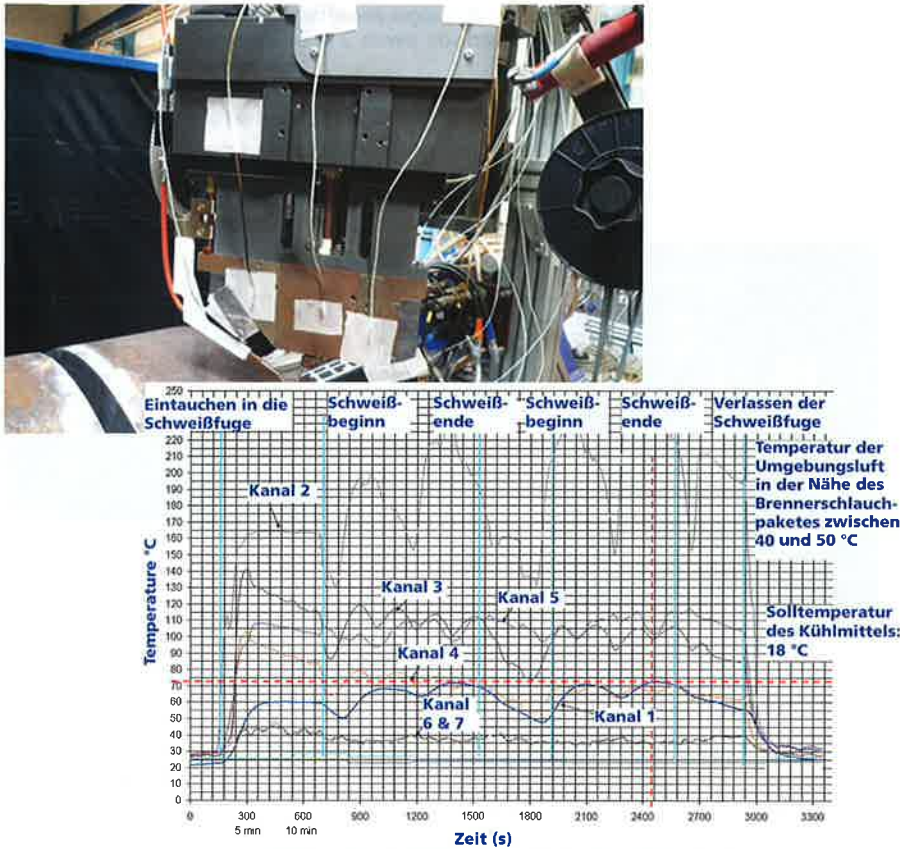


Abb. 21: Mit Sensoren ausgestattete Schweißbrenner und graphisch dargestellte Temperaturverläufe

Konstruktionselemente, die sich als zuverlässig erwiesen haben, werden in die gesamte Baureihe integriert, um die Entwicklungszeit zu verkürzen und mit den gewonnenen Erfahrungen einen möglichst großen Nutzen zu erzielen.

6. Schweißmethoden in der Engspalttechnik

Zum jetzigen Zeitpunkt können Werkstücke mit Wandstärken von 30 bis 300 mm mit Hilfe von Engspaltbrennern ohne Schwierigkeiten geschweißt werden.

Der Konstrukteur hat die Möglichkeit, die Schweißmethode seiner Wahl einzusetzen, ohne von einer bestimmten Technologie, einer vorgegebenen Anlage oder einem spezifischen Hersteller abhängig zu sein. Er kann sich daher uneingeschränkt darauf konzentrieren, die beste Lösung für seine technischen Probleme zu finden. Dazu muss allerdings bekannt sein, wo die Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Schweißmethoden liegen.

Für die Wurzellage ist eine Stärke von 5 bis 6 mm ausreichend, um als Stütze für die erste Fülllage zu dienen, ohne dass dabei die Gefahr des Wiederaufschmelzens besteht. Für die Einstellung der Schweißparameter der Wurzellage werden Werte gewählt, die zu einer optimalen Produktivität führen.

Die Breite eines als Folge von Positionierungstoleranzen entstandenen Spaltes darf beim Engspaltschweißen 1 mm nicht überschreiten. Bei originären Spaltbreiten von etwa einem Millimeter ist es möglich, dass diese sich infolge der beim Schweißen entstehenden Zugspannungen entsprechend verringern, und einen Wert von 0,5 mm unmittelbar vor dem Schmelzbad nicht überschreiten. Wenn dieser Fall nicht eintritt, kann bereits eine einzige Überschreitung der Toleranz von einem Millimeter dazu führen, dass die gesamte Lage durch Einbringen einer Schweißraupe in einem Durchgang geschweißt werden muss.



In welchem Verhältnis zueinander sind die Werte der Stegstärke und der Breite der Nahtfuge zu wählen? Bei der Bestimmung der Schweißparameter (geringe Pulsstromstärke zur Begrenzung der Benetzung) muss die Kenntnis des Verhältnisses P/L einfließen, um ein Schweißverhalten des Steges wie bei einem dünnen Blech zu erhalten.



Bei sehr großen Toleranzen bezüglich der Werkstückpositionierung (Spiel und Versatz) sollten in Vorversuchen Mittelwerte für die einzustellenden Schweißparameter gesucht werden, so dass auch bei extremen Abweichungen der Positioniergenauigkeit der Werkstücke in allen Positionen ein akzeptabler Einbrand erreicht wird.

Auf Positionierungsgenauigkeiten beruhende Spaltbildungen begünstigen das Durchfallen der Naht in der Wannelage und eine Nahtunterwölbung in der Überkopposition. Das Spiel vergrößert den Einbrand an der Innenseite der Wurzellage.

Im Vergleich zu einem durch einwandfreie Positionierung entstandenen Steg ohne Versatz und Spiel verringert sich bei einem mit Versatz behafteten Steg die Breite der Durchschweißung an der Innenseite.


Ein beim Steg auftretender Versatz verstärkt die Wirkung eines als Folge von Positionierungstoleranzen entstandenen Spaltes (Gefahr des Durchfallens der Naht).

Das Legen der Wurzellage in einem Durchgang mit schleppend eingestellter Brennerposition sollte nicht bei Werkstoffen angewendet werden, die nur unter Verwendung von Zusatzdraht verschweißt werden können, da hierbei das zum erfolgreichen Aufbau der Nahtwurzel praktisch immer nötige Wiederaufschmelzen ausgeschlossen ist.

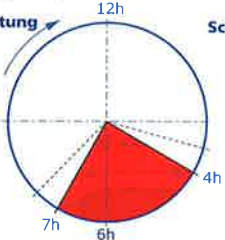
Die Gestaltung des Steges und des unteren Bereiches der Schweißfuge hängt in hohem Maße von den Schweißigenschaften der Grundwerkstoffe ab. Bei der Erstellung der Schweißanweisungen im Engspaltbereich spielen daher die durch verschiedene Chargen bedingten Unterschiede im Schweißverhalten der Werkstoffe eine große Rolle und müssen in die Überlegungen einbezogen werden (Ist mit vielen unterschiedlichen Chargen zu rechnen, weisen die Chargen große Unterschiede im Schweißverhalten auf? Prüfung der Werkstoffanalysen, Test der Schweißignung, Auswirkungen bei unverändert beibehaltenen Schweißparametern, Heftversuche, ...).

Auch die Schweißigenschaften der Zusatzwerkstoffe müssen bei der Erstellung der Schweißanweisungen in Betracht gezogen werden. Das Verhalten des Zusatzdrahtes beim

► Wenn die Gestaltung der Schweißfuge den Erfordernissen des Prozesses entspricht, kann eine Nahtunterwölbung der Wurzel in der Überkopfposition vermieden werden. Die Ziele bei der Konzeption des Überschweißens der Nahtwurzel zur Einbrandverbesserung unterscheiden sich von denen bei der Parameterfestlegung der Fülllagen (möglichst geringe Benetzung der Flanken der Schweißfuge durch die Nahtwurzel).



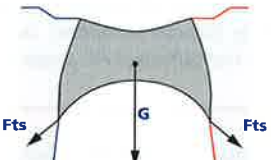
Nahtunterwölbung ist ein beim Fügen von Rohren häufig zu beobachtendes Phänomen. Es ist die Folge des Zusammenwirkens von Oberflächenspannungen und Schwerkraft.



Schnitt durch das Rohr

Für Nahtunterwölbung anfälliger Bereich

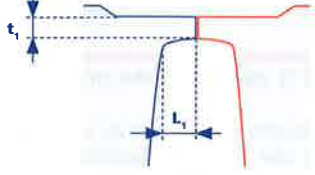
Hinweis: Nahtunterwölbungen können sowohl in der 6G Position als auch in der 2G Position auftreten



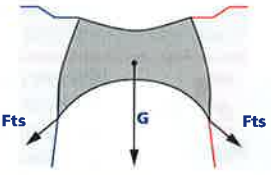
V-Nahtvorbereitung

Nahtunterwölbung ist häufig oder immer zu beobachten

Lösungsansatz: die Form der Schweißfuge und die Schweißparameter müssen so gewählt werden, dass Auswirkungen der Schwerkraft und der Oberflächenspannungen des geschmolzenen Metalls verhindert werden.



Nahtunterwölbung begünstigende Schweißnahtvorbereitung



Wie bei V-Nahtvorbereitung

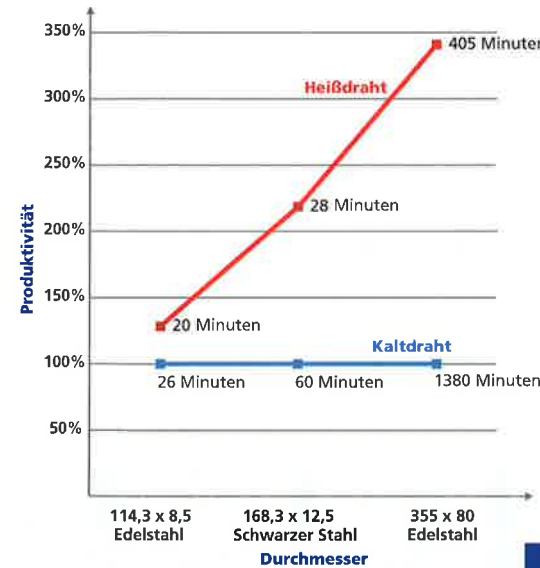
Das Unterbinden der Benetzung vermindert den Einfluss der Oberflächenspannungen. Die Nahtunterwölbung lässt sich so vermeiden.

6.1. WIG-Schweißen mit Kaltdraht und mit Heißdraht

Grundsätzlich muss entschieden werden, ob das WIG-Kaltdrahtschweißen oder das WIG-Heißdrahtschweißen für die vorliegende Fügeaufgabe in Frage kommt. Die für das WIG-Heißdrahtschweißen ausgelegten Stromquellen liefern höhere Schweißstromstärken um 450 A.

Da das WIG-Heißdrahtschweißen im Vergleich mit der Kaltdrahtvariante praktisch nur Vorteile bietet, wird es in zunehmendem Maße bei Werkstücken mit Wandstärken ab 10 mm eingesetzt. Die für das WIG-Heißdrahtschweißen vorgesehenen Stromquellen lassen sich ohne jegliche Einschränkungen auch für das WIG-Kaltdrahtschweißen benutzen, so dass diese Maschinen sehr flexibel verwendbar sind.

Als für das WIG-Kaltdrahtschweißen interessantes Anwendungsfeld ist das gelegentliche Ausführen von Schweißarbeiten mit tragbarer Ausrüstung geblieben, die aufgrund ihrer geringeren Leistung natürlich auch zu einem deutlich geringeren Einstandspreis erworben werden kann.



Allerdings muss einschränkend gesagt werden, dass WIG-Kaltdrahtoperationen mit schleppend geschweißten Strichraupen an unlegierten oder niedrig legierten Stählen vermieden werden sollten, weil dabei Impulsströme mit hoher Stromstärke (um die 350 A) erforderlich sind, um ein ausreichend kräftiges Auftreffen des Lichtbogens auf die Werkstückoberfläche zu ermöglichen, während bei geringeren Stromspitzen die Gefahr von Schweißnahtfehlern durch ungenügenden Einbrand besteht. Das WIG-Engspaltschweißen mit Kaltdraht ist im Wesentlichen auf Werkstücke mit geringer Wandstärke (unter 30 mm) sowie korrosionsbeständige Stähle und Edelmetalllegierungen beschränkt.

Abb.22: Vergleich der Produktivität beim WIG-Kalt- und Heißdrahtschweißen

		Durchmesser		
		114,3 x 8,5 Edelstahl	168,3 x 12,5 Schw. Stahl	355 x 80 Edelstahl
Produktivität	Abschmelzleistung WIG-Kaltdraht	100%	100%	100%
	Abschmelzleistung WIG-Heißdraht	128%	218%	341%
Dauer (min)	Abschmelzleistung WIG-Kaltdraht	26	60	1380
	Abschmelzleistung WIG-Heißdraht	20	28	405

Es sollte auch bedacht werden, dass weniger leistungsfähige Anlagen für das WIG-Kaltdrahtschweißen oft nicht über bestimmte Funktionen wie Steuerung der Drahtpendelung, motorische Schutzgasdüsenbewegung, Drahtführungsverstellung etc. verfügen und dafür auch nicht nachgerüstet werden können.

Die Anwendung des WIG-Kaltdrahtschweißens bleibt daher eher bestimmten Ausnahmefällen vorbehalten, denn durch die Anwendung des WIG-Heißdrahtschweißens kann die Produktivität einer Anlage um den Faktor 2 bis 3 gesteigert werden

6.2. Vorgehensweise beim Einbringen der Fülllagen

Das Einbringen der Fülllagen kann beim Engspaltschweißen auf verschiedene Weise erfolgen. Es besteht grundsätzlich die Auswahl zwischen vier Möglichkeiten.

- ▶ Einbringen einer schleppend geschweißten Strichraupe pro Lage, wenn Zwangslagenschweißungen mit hoher Produktivität gefordert werden und die Beherrschung der Nahtvorbereitung keine Probleme aufwirft.
- ▶ Einbringen von mehreren schleppend geschweißten Strichraupen pro Lage, wenn bei schwierig zu fügenden oder unterschiedlichen Werkstoffen eine optimale Kontrolle des Schweißbades unumgänglich ist.
- ▶ Einbringen von jeweils einer Lage mit gependelter Elektrode, wenn sich die Werkstücke in 5GT oder in 6GT-Position befinden und die Abweichungen der Schweißnahtbreite in Grenzen gehalten werden können; dabei wird ein guter Ausgleich zwischen Produktivität und Durchführbarkeit erreicht.
- ▶ Schweißen in mehreren Durchgängen pro Lage mit gependelter Elektrode (wird äußerst selten angewendet), wenn die Werkstücke eine nicht für das WIG-Schweißen vorgesehene Nahtvorbereitung aufweisen.

6.3. Engspaltschweißen durch Einbringen einer schleppend geschweißten Strichraupe pro Lage

Die Technik des Engspaltschweißens durch Einbringen einer schleppend geschweißten Strichraupe pro Lage ist mit der höchsten Produktivität verbunden, allerdings erfordert sie auch den höchsten Aufwand beim Entwickeln und Erstellen der Schweißanweisungen.

Je nach Schweißposition und Leistung der Stromquelle werden bei unlegierten und niedrig legierten Stählen Schweißgeschwindigkeiten von 150 bis 180 mm/min erreicht, bei korrosionsbeständigen Stählen oder Edelmetalllegierungen sind sogar Schweißgeschwindigkeiten von 250 bis 300 mm/min


Art des Einbringens der Fülllagen	Einzellage	Versetzt angeordnete, schleppend eingebrachte Lagen	Gependelte Lagen
Produktivität	+++	+	++
Prozessführung	++	-	+++
Beherrschung der Schrumpfvorgänge; Toleranzen bei der Schweißnahtvorbereitung	-	++	+++
Rißneigung	-	+++	+
Ausrüstungsstandard	+++	++	+
Orbital 5G	++	-	+++
Orbital 2G – 6G	++	++	-

Abb. 23: Vergleich verschiedener Methoden beim Engspaltschweißen


Bei unzugänglicher Gegenseite (Rohre mit geringem Durchmesser oder Werkstücke mit komplexer Geometrie) muss die Nahtvorbereitung besonders sorgfältig durchgeführt werden. Weiterhin ist sicherzustellen, dass das Positionieren der Werkstücke unter Einhaltung der für das WIG-Schweißen von Nahtwurzeln zu beachtenden engen Toleranzen erfolgt.

Einige Grundregeln zum erfolgreichen Einbringen der Wurzellage sind im Folgenden zusammengestellt:

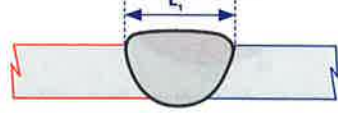
- ▶ Die Stärke der Stege muss in Abhängigkeit des Grundwerkstoffes festgelegt werden. Es besteht ein Zusammenhang P/L zwischen der Schweißneigung L der Werkstoffe und der notwendigen Stärke P der Stege. Während für unlegierte Stähle Stegstärken zwischen 2,5 und 3,5 mm vorzugeben sind, liegen diese Werte für die übrigen Stähle eher bei 2,0 bis 2,5 mm. Werte unter 2,0 mm sind bei korrosionsbeständigen Stählen des Typs Duplex oder Super-Duplex sowie bei Titan und seinen Legierungen vorzusehen.



Was ist unter dem Verhältnis P/L zu verstehen?
Es geht darum, die Form von einer auf ein Blech aufgetragenen Schweißlage zu charakterisieren.




Einwandfreie Lösung



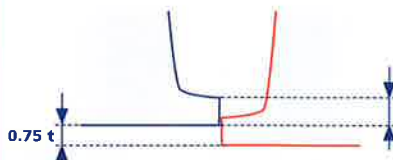
Zu verwerfende Lösung

- Gutes Schweißverhalten, wenn der Wert des Verhältnisses P/L gegen 1 strebt
- Schlechtes Schweißverhalten, wenn der Wert des Verhältnisses P/L gegen 0 strebt

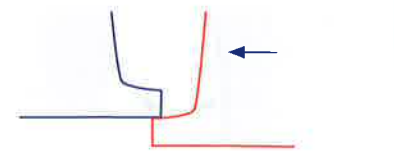
- ▶ Der Versatz zwischen den beiden Stegen der zu verschweißenden Werkstücke darf 75 % der Gesamtstegstärke nicht überschreiten. Je nach Schweißaufgabe und Grundwerkstoff wird durch die Vorgaben entweder die Steggeometrie oder die Art der Werkstückpositionierung festgelegt. Ein Versatz von mehr als 1,5 bis 2 mm ist nach verschiedenen Regelwerken ohnehin nicht zulässig (maximal zulässige Toleranzwerte beim Versatz bei Anwendung der RCCM-Spezifikationen oder des ASME-Codes im kerntechnischen Bereich).



Warum darf der Versatz 75 % der Stegstärke nicht überschreiten?
Der Versatz zwischen den beiden Stegen der zu verschweißenden Werkstücke darf 75 % der Gesamtstegstärke nicht überschreiten, um ein Überlappen oder Abscheren als Folge der Schrumpfungsvorgänge zu vermeiden.



Behinderung der Schrumpfungsvorgänge



Gefahr ungenügender Durchschweißung

7. Erstellung der Schweißanweisungen für das Engspaltschweißen

7.1. Wurzellage

Das Einbringen der Wurzellage ist als die anspruchsvollste Schweißoperation einzustufen. Dabei kann mit einer Metallschiene als Badsicherung gearbeitet werden, wobei ein besonderes Überschweißen zur Einbrandverbesserung entfällt. Die Badsicherung wird in den meisten Fällen anschließend entfernt. Beim Einbringen der Wurzellage ohne Badsicherung wird nach ihrer Fertigstellung oft eine Gegenlage geschweißt, die Rückseite der Nahtwurzel sollte jedoch unabhängig davon für Ausbesserungen oder Reparaturen zugänglich sein. Als schwierigster Fall ist das Einbringen der Wurzellage anzusehen, wenn die Gegenseite nicht zugänglich ist.

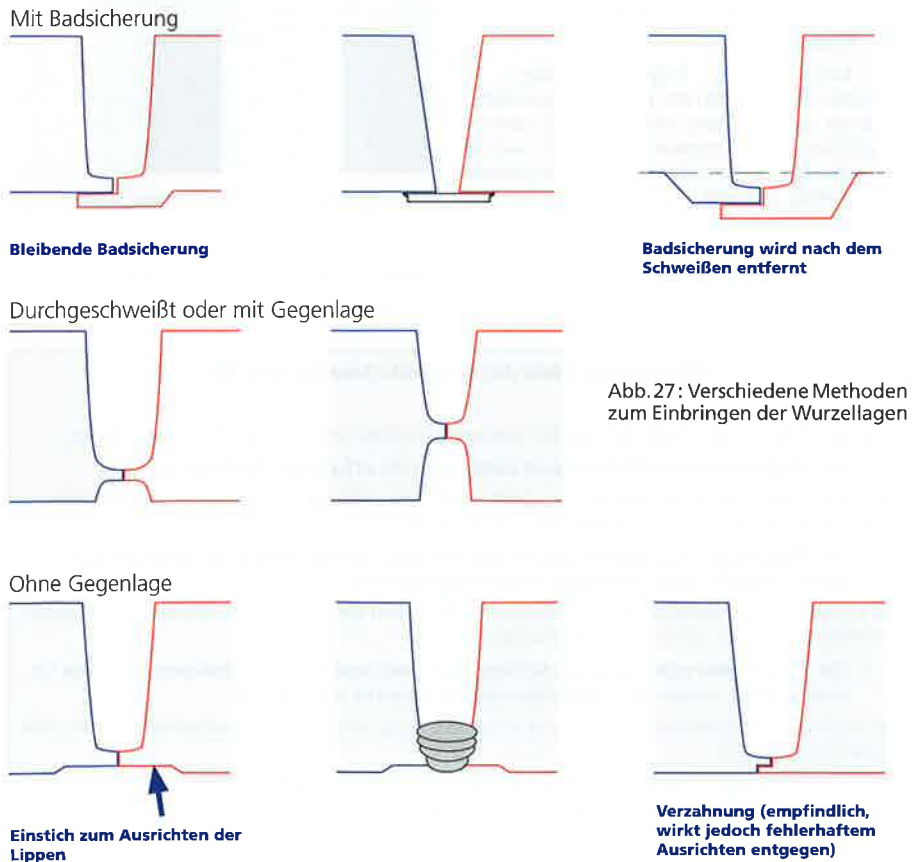


Abb. 27: Verschiedene Methoden zum Einbringen der Wurzellagen

möglich. (vgl. Anhang 1 - Anleitung zur Erstellung einer Schweißanweisung zum Engspaltschweißen mit einer Schweißbraupe pro Lage).

Diese hohen Schweißgeschwindigkeiten können beim Gleichstromschweißen in Wannenlage oder bei Stumpfschweißungen am stehenden Rohr erreicht werden, während beim Arbeiten in den restlichen Schweißpositionen die Geschwindigkeiten unter Einsatz des thermischen Pulsens auf Werte zwischen 80 und 120 mm/min reduziert werden müssen (im Hinblick auf die nicht zu unterschreitende Mindestzeit zwischen den einzelnen Pulsspitzen).

Die Breite der Schweißfuge darf im Allgemeinen 9,5 mm nicht überschreiten (beim Schweißen in Wannenlage oder bei Stumpfschweißungen am stehenden Rohr und entsprechender Anpassung der Schweißparameter sind Fugenbreiten von bis zu 10 mm möglich), während eine minimale Breite der Fuge von 8,0 mm eingehalten werden muss, um eine kollisionsfreie Passage des Schweißbrenners (mit maximaler Stärke von 7,0 mm) sicherzustellen.

Die Schwierigkeit bei der Vorbereitung besteht darin, eine genügende Anzahl von Probeschweißungen vorzusehen, um den Prozess bei Abweichungen der Fugenbreite zwischen maximal 1,0 und 1,5 mm sicher zu beherrschen.

Glücklicherweise ist die Abnahme der Fugenbreite als Folge der auftretenden Schrumpfspannungen nach dem Einbringen jeder Schweißlage relativ konstant und bei mehreren Schweißungen auch wiederholgenau. (vgl. Anhang 2 - Beim Schweißen auftretende Schrumpfungen).

Als problematisch erweist sich häufig das Einhalten der notwendigerweise engen Toleranzen bei der Schweißnahtvorbereitung, das einwandfreie Ausrichten der Werkstücke und das Auftreten von Schrumpfvorgängen in Querrichtung (freies Schrumpfen oder Behinderungen der Schrumpfungen als Folge der Werkstückgeometrie oder -einspannung).

Wenn die genannten Schwierigkeiten im Verlauf der Erstellung der Schweißanweisung zuverlässig aus dem Weg geräumt werden, ist die Technik des Engspaltschweißens durch Einbringen einer schleppend geschweißten Strichraupe pro Lage sehr effizient und vergleichsweise einfach umzusetzen.

Es soll in diesem Zusammenhang auch noch darauf hingewiesen werden, dass die Prozessführung durch den Einsatz eines klassischen Brenners beim Einbringen der Fülllagen der letzten 45 mm erheblich vereinfacht werden kann, denn in diesem Fall sind Fugenbreiten bereits ab 7,5 mm zulässig (diese Lösung ist zwar vom technologischen Ansatz her nicht unbedingt notwendig, hat sich aber aufgrund praktischer Erfahrungen als sehr vorteilhaft erwiesen).

6.4. Engspaltschweißen durch Einbringen von zwei oder mehr schleppend geschweißten Strichraupen pro Lage

Die Methode des Engspaltschweißens durch Einbringen von zwei schleppend geschweißten Strichraupen pro Lage ist sehr verbreitet und wird oft durch das Einbringen von drei schleppend geschweißten Strichraupen pro Lage gegen Ende des Füllvorgangs oder beim Aufbringen der Decklage ergänzt.

Die Entscheidung zum Einsatz dieser Methode beruht auf unterschiedlichen Überlegungen. Die bei einer schleppend geschweißten Strichraupe pro Lage eingebrachte Energie ist sehr hoch, denn sie muss ausreichen, um die beiden Flanken der Schweißfuge gleichzeitig zu benetzen und aufzuschmelzen.

Bei Werkstoffen, die zur Rissbildung neigen, ist allerdings vom Einbringen einer schleppend geschweißten Strichraupe pro Lage abzuraten, neben der dabei notwendigen hohen



Abb. 24: Einbringen von mehreren schleppend geschweißten Raupen pro Lage mit Elektroden mit abgewinkelter Spitze

Streckenenergie spielt auch das Auftreten einer bedeutenden Volumenabnahme beim Erstarren des Schmelzbades eine bedeutende Rolle (Heißrisbildung möglich).

In diesen Fällen sollte der Lichtbogen auf jeweils nur eine Flanke gelenkt werden, so dass mit einer geringeren Streckenenergie gearbeitet werden kann.

Oft tritt auch das Problem auf, die mit dem Schweißen verbundenen Schrumpfvorgänge zu meistern, die je nach den bei der Schweißnahtvorbereitung aufgetretenen Toleranzen, der einwandfreien Ausrichtung

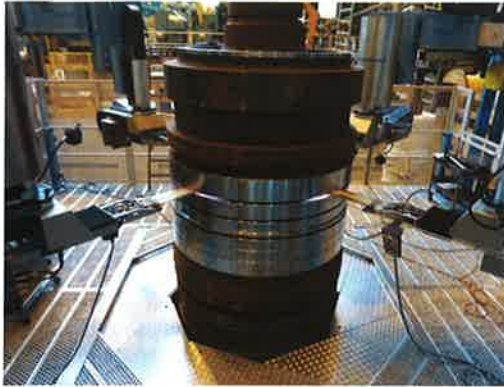


Abb.25: Schweißungen mit zwei oder vier Brennern (untere Lage mit einem Brenner und die darüberliegende Lage mit dem zweiten, um 180° versetzten Brenner. Bei dieser Methode können mehrerer Überschweißungen direkt hintereinander ohne Unterbrechung erfolgen. Dabei verwerfen sich die zu fügenden Werkstückteile nicht (Ausgleich der beim Schweißen entstehenden Zugspannungen).

der Werkstücke und eventueller Behinderungen bei deren Kontraktion unterschiedlich ausfallen können (freies Schrumpfen oder Behinderungen als Folge der Werkstückgeometrie oder -einspannung).

Wenn der Aspekt der eingebrachten Streckenenergie außer Acht gelassen werden kann, ist eine hohe Effizienz des Verfahrens beim Schweißen in Wannennlage oder bei Stumpfschweißungen am stehenden Rohr zu erzielen. Bei Schweißungen in Zwangslagen muss allerdings mit deutlichen Abstrichen gerechnet werden.

Als interessante Einsatzgebiete des Engspaltschweißens durch Einbringen von zwei schleppend geschweißten Strichraupen pro Lage sind auch Verbindungsschweißungen von Werkstücken aus unterschiedlichen Grundwerkstoffen zu nennen, da es hier einfacher möglich ist, die Schweißparameter den jeweiligen Gegebenheiten anzupassen (Unterschiede der Werkstoffe und Werkstücke, u. U. vorher aufgebraute Pufferschichten).

Die Fugenbreite liegt bei dieser Methode zwischen 10 und 13 mm, die Fugen weisen ähnliche Öffnungswinkel auf wie beim Schweißen mit einzelnen Strichraupen.

6.5. Engspaltschweißen durch Einbringen von jeweils einer Lage mit gependelter Elektrode

Das Engspaltschweißen durch Einbringen von jeweils einer Lage mit gependelter Elektrode zeichnet sich durch eine einfache Prozessführung bei gleichzeitig hoher Effizienz aus.

Das Pendeln der Elektrode erlaubt eine genaue Anpassung der Schweißparameter, so dass der gewünschte gute Flankeneinbrand mit geringem Aufwand erzielt werden kann.

Bei dieser Methode ist allerdings dem Stumpfschweißen von Werkstücken in aufrechter Lage besondere Beachtung zu schenken, denn ihre Anwendung mit gependelter Elektrode ist in vielen Fällen gänzlich ausgeschlossen oder erfordert die besondere Aufmerksamkeit des Bedienungspersonals bei gleichzeitig deutlichem Rückgang der Effizienz. Ähnliches gilt für Schweißpositionen, bei denen die Werkstückachse geneigt ist (6G).

Die Werkstückvorbereitung für das Engspalt-schweißen durch Einbringen von jeweils einer Lage mit

gependelter Elektrode erfolgt ähnlich wie beim Einbringen von zwei schleppend geschweißten Strichraupen pro Lage (allerdings ist hier die Fugenbreite auf Werte von 12, 16 oder sogar 18 mm zu vergrößern).

Die ähnliche Schweißnahtvorbereitung erlaubt es auch, das Einbringen von jeweils zwei Raupen mit gependelter Elektrode in eine Lage mit gependelter Elektrode vorzusehen. Der motorische Antrieb der Pendelung von Elektrode und Draht macht es möglich, die beiden Durchgänge automatisch ohne Unterbrechung hintereinander zu schweißen.

6.6. Engspaltschweißen in mehreren Durchgängen pro Lage mit gependelter Elektrode

Die Methode des Engspaltschweißens in mehreren Durchgängen pro Lage mit gependelter Elektrode wird meistens nicht aufgrund direkter technischer Vorteile angewendet, sondern weil die Engspaltausrüstung ohnehin verfügbar ist und eine bereits fertig gestellte Schweißnahtvorbereitung der Werkstücke nicht mehr oder nicht so schnell geändert bzw. angepasst werden kann.

Die praktische Durchführung erfolgt wie beim Engspaltschweißen durch Einbringen von jeweils einer Lage mit gependelter Elektrode, auch die Parametereinstellungen können nahezu unverändert übernommen werden.



Abb.26: Gependelt eingebrachte Schweißlage

Übersicht zur Wahl der Engspaltschweißmethoden

- Leistung, Produktivität, Beherrschung der Schrumpfvorgänge und Schweißen in Zwangslagen
 - ⇒ **das Einbringen von Strichraupen bietet sich als effiziente Methode an**
- Universelle Einsetzbarkeit, begrenzte Breite der Schweißfuge, Schweißen in Zwangslagen (mit Ausnahme von Stumpfschweißungen am stehenden Werkstück)
 - ⇒ **das Einbringen von jeweils einer Lage mit gependelter Elektrode zeichnet sich durch einfache und vielseitige Anwendbarkeit aus**
- Bei notwendiger Begrenzung der Streckenenergie und dem Verbinden von Werkstücken aus unterschiedlichen, schwer schweißbaren Werkstoffen
 - ⇒ **das Einbringen von mehreren schleppend geschweißten Strichraupen pro Lage ist eine Lösung, wenn im Engspaltbereich gearbeitet werden soll**
- Bei bereits vorhandener Nahtvorbereitung mit großer Fuge, wie sie bei Schweißanwendungen ohne Flussmittel üblich ist
 - ⇒ **das Einbringen mehrerer Lagen mit gependelter Elektrode könnte als behelfsmäßige Lösung vorgesehen werden**