

# Plasmastichlochschweißen – Funktionsweise, Abgrenzung zu anderen Verfahren, gängige Fertigungsverfahren in der Produktionspraxis

Autor: Thomas Schumacher, Dipl. Ing. Elektrotechnik, Fa. MIG-O-MAT, Burbach, Deutschland  
Co-Autor: Rainer Tuma, Fa. MIG-O-MAT, Burbach, Deutschland

## 1 Plasmastichlochschweißen

### 1.1 Einsatz

Das Plasmastichlochschweißen ist vornehmlich zu finden im Edelstahlapparatebau, Tankbau und im Chemischen Apparatebau. Die zu fügenden Wandstärken liegen hier meist in Bereichen zwischen 3,0 mm und 10,0 mm. Typische Anwendungen sind hierbei Längs- und Rundnähte von „dickwandigen“ Rohren, Behältern und Böden.

### 1.2 Funktionsweise

Beim Plasmaschweißen brennt der Schweiß- oder Hauptlichtbogen ebenso wie beim WIG-Schweißen zwischen der Wolframelektrode und dem Werkstück. Zusätzlich brennt zwischen der Wolframelektrode und einer intensiv wassergekühlten Düse ein sogenannter „Pilotlichtbogen“ mit einer Stromstärke von 3 – 30 A. Zwischen der Elektrode und der Düse wird ein Plasmagas, meist Argon, geleitet. Dieses drückt den Pilotlichtbogen geringfügig aus der Düse heraus, so dass er hier als ionisierende Spur zu erkennen ist. Der Pilotlichtbogen ionisiert die Lichtbogenstrecke, und der Hauptlichtbogen kann nun ohne die beim WIG Schweißen erforderliche hochfrequente Hochspannung berührungslos mit einer außerordentlich hohen Zuverlässigkeit gezündet werden.

Anders als der WIG Lichtbogen besitzt der Plasma-lichtbogen eine sehr schmale Lichtbogensäule, die sich auch bei Längenänderungen nur gering verändert.

Die für das Plasmaschweißen charakteristische Einschnürung des Lichtbogens wird hierbei durch verschiedene physikalische Effekte erzielt (Kühlwirkung der Düse, elektromagnetische Effekte).

Durch die schmale und sehr stabile Lichtbogensäule ergibt sich ein schmales Schmelzbad und geringe Wärmeeinflusszonen.

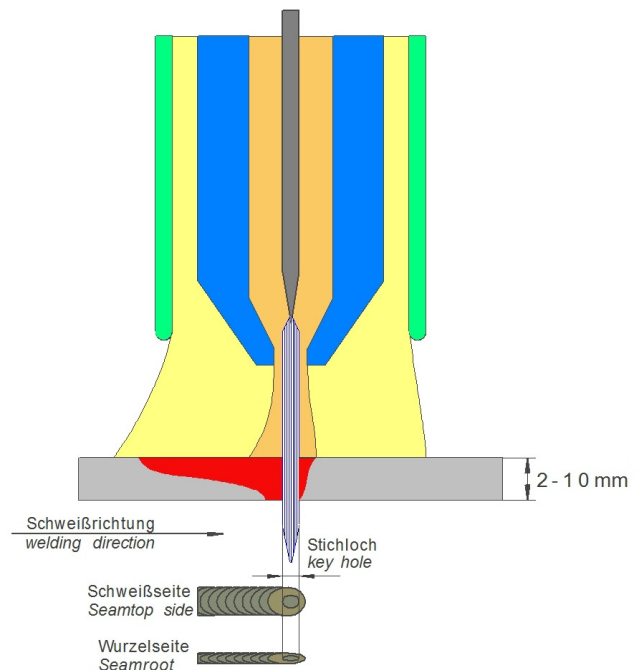
Beim Plasmastichlochschweißen wird am Nahtanfang durch hohen Plasmagasdruck ein sogenanntes „Stichloch“ gebildet, wo das Material in seiner gesamten Tiefe aufgeschmolzen wird. Dadurch ist es möglich, hochlegierte Cr-Ni-Werkstoffe im I-Stoß bei Blechdicken von bis zu 10 mm zu schweißen. Zum Auffüllen des Stichloches, zum Ausgleich des Wurzeldurchhanges und für die Bildung einer geringen Nahtüberhöhung wird meist als Zusatzwerkstoff ein Kaltdraht eingesetzt.

### 1.3 Abgrenzung zu anderen Verfahren

Aufgrund der technologischen Gegebenheiten beim Plasmastichlochschweißen ergeben sich eine Reihe von Vorteilen gegenüber anderen Schweißverfahren:

- hohe Produktivität
- Geringe Energieeinbringung
- Geringste Betriebskosten pro Meter Schweißnaht bei Edelstählen
- keine Nahtvorbereitung bis 10mm
- Einlagiges Schweißen bis 8mm
- nur automatisiert einsetzbar
- Viele Einstellparameter

Die geringen Betriebskosten im Vergleich zum MAG, UP oder WIG-Schweißen resultieren hauptsächlich aus geringeren Nebenzeiten (Anphasen) und der wesentlich geringeren Zugabe von Zusatzmaterial, da beim Stichlochschweißen meist keine Nahtvorbereitung notwendig ist und somit das „Füllvolumen“ der Naht sehr klein ist. Es ergeben sich typische Drahtvorschubgeschwindigkeiten von 80-140 cm/min (/Drahtstärke 1,2mm) bei einer Schweißgeschwindigkeit von 20-40 cm/min.



## 1.4 Einfluss der verschiedenen Parameter

Im Vergleich zu anderen Schweißverfahren kommen beim Plasmastichlochschiessen noch zwei Parameter hinzu: Plasmagasmenge und Plasmadüsengröße, sodass sich insgesamt 7 verschiedene (voneinander abhängige) Prozessparameter ergeben:

- Schweißstrom
- Schweißgeschwindigkeit
- Plasmagasmenge
- Plasmadüsengröße
- Kaltdrahtfördermenge
- (Schutzgas)
- (Brennerabstand / Schweißspannung)

Mit der Plasmagasmenge wird der Druck auf die Schmelze bestimmt und somit die Ausbildung des Stichlocheffektes. Allerdings wird der „Druck“ nicht nur von der Durchflussmenge des Gases bestimmt, sondern auch von der jeweiligen Plasmadüsengröße (=Bohrungsdurchmesser). Der benötigte Bohrungsdurchmesser ist wiederum abhängig von dem benötigten Schweißstrom, da man durch jede Bohrung nur eine gewisse „Menge“ Schweißstrom bekommen kann. Diese „Menge“ ist wiederum abhängig von der Menge des Plasmagases und dem Aufbau bzw. der Kühlung der Düse. Bei zuviel Schweißstrom wird die Düse rasch zerstört, da die Ausdehnung der Lichtbogensäule wächst und die schützende Schicht Plasmagas zwischen Säule und Düse kleiner wird, bis schließlich der Lichtbogen von der Elektrode über die Düse auf das Werkstück geht. In diesem Überlastbereich ist kein Schweißen mehr möglich und die Düse wird rasch zerstört.

Beim Stichlochschiessen gibt es verschiedene Arbeitspunkte. So kann man z.B. mit viel Schweißstrom und wenig Plasmagas schweißen, bekommt aber eine große Schmelze und eine hohe Energieeinbringung (=viel Verzug). Sinnvoller hingegen ist meist der Weg mit viel Plasmagas und einem geringeren Schweißstrom zu arbeiten. Hierdurch kann man eine kleinere Plasmadüse verwenden und bekommt auch somit eine kleinere Schmelze und geringe Energieeinbringung in das Material. Als grobe Richtlinie hierfür haben sich ca. 1Ltr Plasmagasmenge / mm Blechstärke bewährt.

Die Menge an benötigtem Kaltdraht ergibt sich meist durch die Nahtvorbereitung und die Anforderungen an die Größe der Wurzel und der Decklagenüberhöhung. Je größer der Spalt zwischen den Blechen ist, desto mehr Kaltdraht wird benötigt. Allerdings sind die typischen Kaltdrahtwerte meist bei ca. 1m/min und somit ist die Abschmelzleistung deutlich geringer als bei anderen Verfahren. Wird eine höhere Abschmelzleistung benötigt, so muss auch der Schweißstrom erhöht werden, da ein Teil der Energie für das Aufschmelzen des Drahtes verloren geht.

Auch die Art des Schutzgases hat einen Einfluss auf die Schweißung. Im CrNi-Bereich wird meist Argon mit 5-7% Wasserstoff verwendet. Durch den Wasserstoff kann die Schweißenergie um ca. 20% reduziert werden gegenüber dem Schweißen mit reinem Argon.

Der Wasserstoff hat aber den Vorteil, dass die Schmelze besser fließt (Reduzierung der Oberflächenspannung) und außerdem bindet der Wasserstoff einen Teil des Luftsauerstoffes und reduziert somit die Anlauffarben.

Der Brennerabstand (=Abstand Plasmadüse - Werkstück) wird beim Plasmastichlochschiessen meist über eine automatische Abstandsregelung konstant gehalten, z.B. eine sogenannte AVC (=Arc Voltage Control). Aufgrund der Abhängigkeit der Lichtbogen-spannung von dem Abstand Elektrode-Werkstück, wird diese Größe genommen, um mittels eines motorischen Schlittens den Abstand nachzuregeln.

Durch einen größeren Brennerabstand passiert folgendes:

- Der Plasmagasdruck lässt etwas nach
- Die Breite des Schmelzbades wird etwas größer
- Der Kaltdraht läuft nicht mehr sauber in die Schmelze.

Wie man anhand der Beispiele sieht, ist einiges bei der Einstellung der Parameter zu beachten.

Hierbei kann einem die moderne Steuerungstechnik mit übersichtlich gestalteten Bedienoberflächen und einer einfachen Bedienung sowie der Möglichkeit, Parametersätze abzuspeichern und wieder aufzurufen, helfen. All dies ersetzt allerdings nicht einen erfahrenen Bediener/Schweißer an der Anlage, da letztendlich das Beurteilen der Schweißung, das Aufnehmen der Ist-Situation (Nahtvorbereitung, Spaltmaß, Kantenversatz, ..) sowie das dadurch notwendige Nachstellen der Schweißparameter durch den Menschen erfolgt. Im Behälterbau ist eine vollständige Automation nicht möglich. Selbst die Beste Anlagentechnik kann (und sollte) den Bediener nur unterstützen sodass sich dieser möglichst auf den Schweißprozess konzentrieren kann.

Hierbei ist natürlich auch die ergonomische Gestaltung der Anlage sowie das gewählte Produktionsverfahren und die persönlichen Vorlieben der Bediener zu berücksichtigen. Hierbei hat jedes Fertigungsverfahren seine Vorteile und aber auch Nachteile. Das optimale Verfahren kann nur anhand der Gegebenheiten beim Anwender ermittelt werden, da dies teilweise auch durch zur Verfügung stehende Hallenhöhen eingeschränkt wird.

## 2.0 Fertigungsverfahren

### 2.1 Vergleich der Behälterfertigung : Stehtankfertigung (Quernaht), Liegendfertigung, Vertikal-Down mit Spannbank.

In der Praxis haben sich weitgehend 2 verschiedene Verfahren etabliert, wobei das Vertikal-Down Verfahren oder die Fertigung mit einer höhenverstellbaren Spannbank für beide Varianten zusätzlich als Vorfertigung genutzt werden kann.

#### Stehtankfertigung

Die Stehtankfertigung erfolgt auf einem waagerechten Drehteller und mit einem feststehenden Plasmabrenner (siehe Bild 1). Hierbei werden die einzelnen Segmente aufeinander positioniert und dann in Quernahtposition verschweißt. Anschließend wird der Tank hochgehoben und ein neuer Ring wird unten auf den Drehteller positioniert und mit dem oberen Tank zusammengeheftet. Der Vorteil: da die Zargenhöhe meist 1,5 oder 2,0 m beträgt, erfolgt die Schweißung immer in Augenhöhe des Bedieners. Auf Hilfsmittel wie z.B. Kameras oder Hubbühnen kann somit verzichtet werden. Außerdem kann auf Querverstrebungen des Tanks (wie sie bei der Liegendfertigung notwendig sind) verzichtet werden. Einschränkend hierbei ist die notwendige Deckenhöhe der Halle bei der Fertigung von großen Tanks.

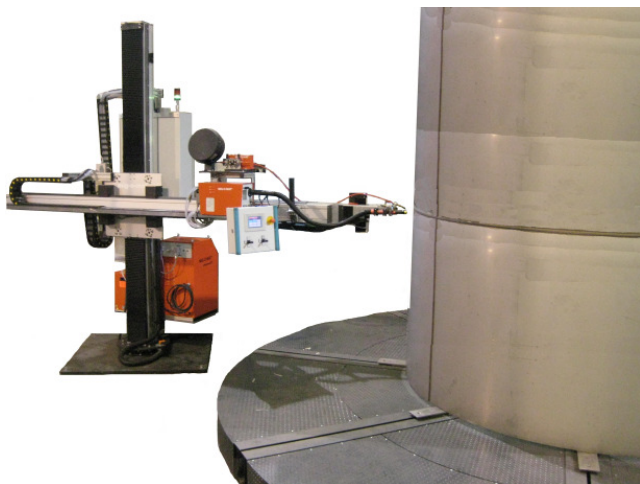


Bild 1: Stehtankfertigung mit 1,5m Zargenhöhe

#### Liegendfertigung

Hierbei wird der Tank bzw. die vorgehefteten Einzelsegmente auf Rollenböcken liegend positioniert (siehe Bild 2). Über einen Automatenträger werden hierbei die Rund- und Längsnähte verschweißt. Nachteilig hierbei ist die „Arbeitsposition“ des Plasmabrenners oben auf dem Tank (bei einem Tankdurchmesser von 5m in ~ 5,5m Höhe).



Bild 2: Liegendfertigung auf Rollenböcken

Hier muss entweder über eine Hebebühne „Vorort“ gearbeitet werden oder aber über ein Kamerasystem von einem Bedienpult am Boden aus. Letzteres ist aus ergonomischen und arbeitsschutzrechtlichen Bedingungen vorzuziehen.

Vor allem bei größeren Durchmessern (>2m) und je nach Wandstärke sind zusätzliche Verstrebrungen innerhalb des Tanks erforderlich.

#### Vertikal-Down mit Spannbank

Hierbei werden die einzelnen Rundsegmente vorher in einer Spannbank verschweißt (siehe Bild 3). Dies erfolgt idealerweise in direkter Kombination mit einer Abcoilung, wobei das Blech direkt vom Coil kommt, gerundet und auf Länge geschnitten wird und anschließend dann die Längsnäht verschweißt wird.

Dieses Rundsegment kann dann auf dem Rollenbock oder in der Stehtankfertigung weiterverarbeitet werden. Grundsätzlich ist der Schweißvorgang schwieriger als in Wannenlage. Um ein gutes Ergebnis zu erreichen, müssen die Parameter und vor allem der Kaltdraht einlauf in die Schmelze exakt stimmen.

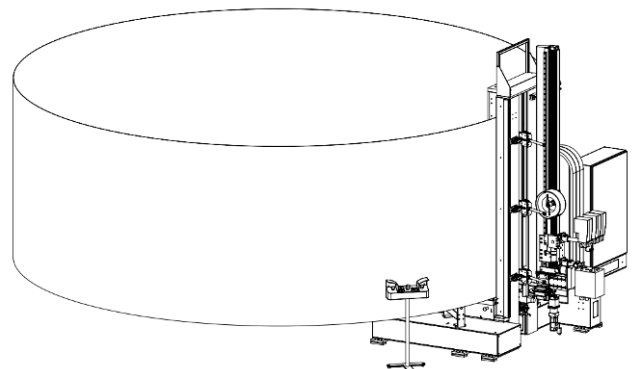


Bild 3: Vertikal-Down Spannbank mit Rundsegment (Werksbild Schnelldorfer Maschinenbau)



## Höhenverstellbare Spannbank

Alternativ zum Vertikal-Down wird häufig auch eine höhenverstellbare Spannbank eingesetzt (siehe Bild 4), auf welcher die Längsnaht der einzelnen Rundsegmente vorher verschweißt wird. Auch hierbei ist das Handling der Segmente schwieriger als bei der Vertikal-Down Lösung. Allerdings gestaltet sich der Schweißvorgang einfacher (siehe Nachteile Vertikal Down).



Bild 4: Höhenverstellbare Spannbank (Werksbild Schnelldorfer Maschinenbau)

## Rohrverbindungen

Eine andere Art von Anlagentechnik wird bei Rohr-Rohr oder Rohr-Flansch Verbindungen benötigt. Diese werden meist auf einem Drehtisch eingespannt und mit feststehendem Brenner geschweißt, wobei sich das Rohr entsprechend dreht (siehe Bild 5).

Hierbei sind grundsätzlich 3 Dinge zu beachten: die entstehende Vorlaufwärme, ein sicheres Einstechen am Nahtanfang und ein sicheres Schließen des Stichlochs am Ende der Schweißung.



Bild 5: Anlage für Rohr-Rohr Verbindungen

## Vorlaufwärme

Die Vorlaufwärme muss bei Durchmessern  $<200\text{mm}$  beachtet werden. Hierbei muss aufgrund des sich erwärmenden Rohres die Schweißenergie während der Schweißung vermindert werden.

## Schließen des Stichloches

Besondere Anforderungen an den Schweißablauf und somit an die Steuerungstechnik bestehen für den Start- bzw. Einstechvorgang und für das Schweißende (Überlappung). Um hier prozesssicher zu schweißen, bei einer gleichmäßigen Wurzel- und Nahtoberfläche, ist das gleichzeitige, präzise Steuern mehrere Parameter notwendig.

Würde man beim Stichlochschiessen den Schweißvorgang sofort beenden, so bliebe das (dem Verfahren namensgebende) Stichloch (Siehe Bild 6).



Bild 6: Stichloch am Nahtende

Zum Schließen des Stichlochs am Ende muss dieses mit Kaltdraht gefüllt werden, wobei gleichzeitig der Schweißstrom und das Plasmagas reduziert werden.

Auch für die Nahtvorbereitung gelten andere Anforderungen als im Behälterbau. So wird meist bis 5mm im I-Stoß gefertigt bei 1-lagiger Schweißung. Größer 5mm sollte mit einem Steg von 4mm und einem Öffnungswinkel von  $70^\circ$  gearbeitet werden. Vor allem bei kleinen Durchmessern empfiehlt es sich, 2-lagig zu arbeiten, vor allem wenn im Rohrleitungsbau gefertigt wird, da der Prüfaufwand bei 2-lagiger Schweißung meist reduziert werden kann und der gesamte Prozess mehr Sicherheit erhält.



Bild: Einstichvorgang, Wurzelseite



Bild: Überlappung 360°, Wurzelseite

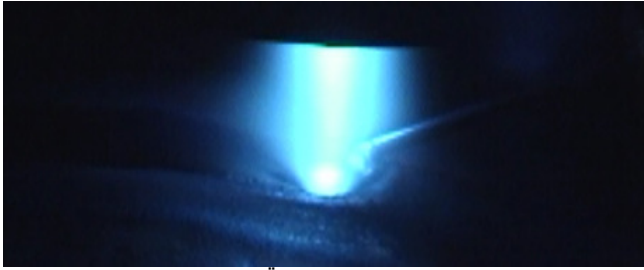


Bild: Stichloch kurz vor der Überlappung

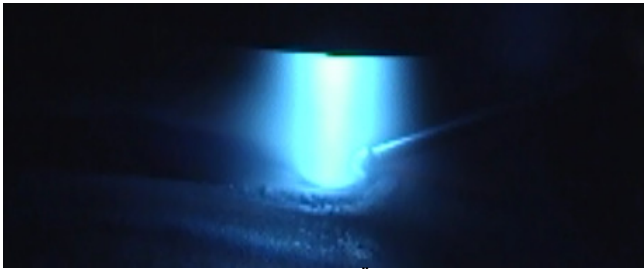


Bild: Geschlossenes Stichloch in der Überlappung (Absenkphase)