Flexible Einzelrohrschweißzelle für dünnwandige Rohrabschnitte

Einleitung

Das Anwendungsgebiet kurzer, dünnwandiger Rohre liegt unter anderem im Einsatz in Abgassystemen von PKW, LKW oder Baumaschinen. Als Halbzeuge dienen sie zur Herstellung von Metalldichtungen bis hin zu Reduzier- und Adapterstücken in Rohrleitungen. Die Endgeometrie wird hydraulisch-mechanisch oder im Innenhochdruck-Umformverfahren erzeugt. Dabei erfährt neben dem Werkstoff auch die Schweißnaht in Bereichen mit hohen Umformgraden hohe Dehnungen. Betrachtet man den heutigen Fertigungsablauf für kurze, dünnwandige Rohre, so werden zunächst auf kontinuierlichen Rohrprofilier- und Schweißanlagen Standardrohre hergestellt, die in einer nachgeschalteten Trennoperation zugeschnitten werden. Das kurzfristige Beziehen von Rohren in Sonderabmessungen mit Durchmesser 118,2 mm und Wanddicke 1,2 mm in kleinen Mengen ist nicht möglich, da bei Sonderabmessungen derzeit immer eine vollständige Charge abgenommen werden muss, was sich letztlich für den Kunden in hohen Stückzahlen und den damit verbundenen Lagerhaltungskosten ausdrückt.

Zur flexiblen Herstellung dünnwandiger, kurzer Rohrbauteile, Bild 1, in Sondergrößen und bis hin zum Ein-Stück-Prozess muss ein neuartiges Fertigungsverfahren entwickelt werden, welches flexibel und kurzfristig auf diese Anforderungen reagiert. Die Antwort auf diese Herausforderungen ist die Kurzrohr-Plasmaschweißanlage der Firma Mig-o-Mat aus Burbach. Sie ist das Ergebnis einer innovativen wertanalytisch orientierten Produktentwicklung mit dem Ziel, dass durch den Einsatz der neuen Plasmaschweißanlage die Herstellung dünnwandiger Rohre auch in Sonderabmessungen in kleinen und mittleren Losgrößen wirtschaftlich und mit einem kurzfristigen „Return on Invest" (ROI) möglich wird, Tabelle 1.

Die Aufgabenstellung des Kunden sah vor, die aus Platinen gerundeten Rohrabschnitte zu spannen und zu verschweißen. Dabei musste die Schweißnaht nicht nur einem im nachgeschalteten hydraulisch-mechanischem Umformschnitt erforderlichen Umformgrad standhalten, sondern auch geometrischen Anforderungen an Breite, Höhe, Anfangs- und Endgeometrie entsprechen:

- ☐ hohe Flexibilität im Bezug auf den Durchmesser, Wanddicke und Rohrbreite,
- ☐ geringes Invest, kurzfristiges ROI,
- ☐ hohe Schweißnahtgüte,
- ☐ hohe Prozessstabilität, bei geringen Taktzeiten.

Tabelle 1. Herausforderungen an die Plasmaschweißanlage

Bauteilgeometrie
- unterschiedliche Rohrdurchmesser und Wanddicken
- kurze Bauteillänge (kurze Schweißnaht)
- hohe Zündhäufigkeit
- Rohraußendurchmesser 75 bis 150 mm
- Rohrbreite (Länge) 20 bis 200 mm
- Toleranz der Rohrbreite ±0,2 mm
- Wanddicke 1,5 bis 2,0 mm
- Toleranz der Wanddicke ± 0,1 mm
- axialer Versatz nach dem Rundungsprozess ± 0,2 mm
- Taktzeit maximal 30 s, angestrebt 20 s
- Durchschweißung über den gesamten Nahtverlauf einschließlich Anfang und Ende
- kein Nahteinfall am Anfang und Ende der Schweißnaht
- maximal zulässige Nahtüberhöhung 10% ohne anschließende mechanische Bearbeitung
- keine Spritzer

Bauteileigenschaften
- Dehnungen von mindestens 45% ertragbar
- Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse

Nahtqualität
- ausreichende Durchschweißung
- kein Wurzeldurchhang
- keine Schweißspritzer

Schweißnahtgeometrie
- keine Start- oder Endkrater
- Fehlerfreie Schweißnaht (keine Poren)

Rahmenbedingungen
- lange Standzeiten der Verschleißteile
- geringe Investitionskosten
- automatisierter Schweißprozess

Tabelle 2. Auswahl des Schweißprozesses (– nicht erfüllt, O erfüllt, + gut erfüllt).

Anforderungen	MIG/MAG	WIG	Plasma	Laser
maximale Nahtüberhöhung 10%	-	+	+	+
keine Spritzer, hohe Nahtqualität	-	+	+	+
Spalttoleranzen erlaubt	+	+	+	-
geringe Investitionskosten	+	+	+	-
hohe Schweißgeschwindigkeit	+	o	o	+
kurze Nähte und hohe Zündhäufigkeit	-	-	+	+
kein Einfall an Nahtanfang und -ende	-	-	+	+
lange Standzeiten der Verschleißteile	+	-	+	+

Kundenanforderungen

Durch den nachfolgenden hydraulischen Verformungsprozess wird der Nahtrandbereich stark verformt, sodass eine vollständige Durchschweißung notwendig ist. Allerdings darf es hierbei zu keiner Fehlstelle am Nahtanfang und Nahtende kommen. Da ein flüssiges Schmelzbad das Bestreben hat, sich zusammenzuziehen, kommt es leicht zu einer Fehlstelle, welche

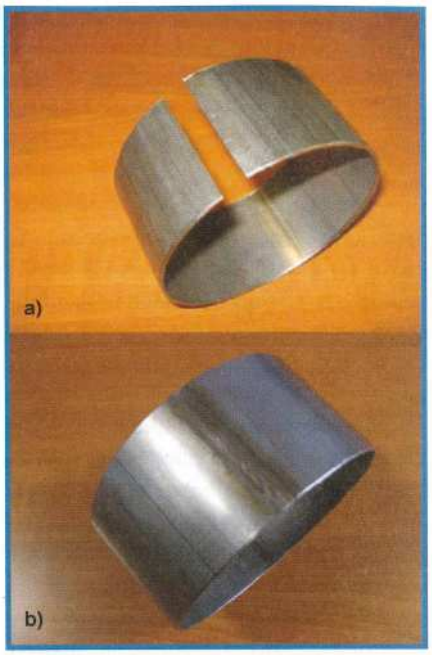


Bild 1. *Aus der Platine eingeformter Rohrabschnitt* ***(a)*** *und plasmageschweißtes Kurzrohr* ***(b).***

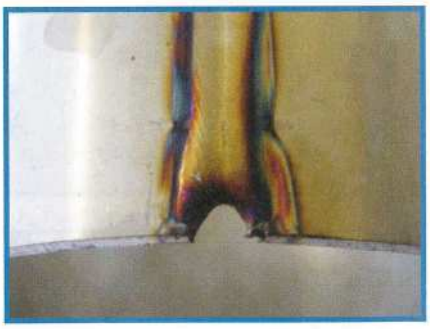


Bild 2. *Kraterfehler – Einfall der Schweißnaht am Beginn oder am Ende der Schweißnaht.*

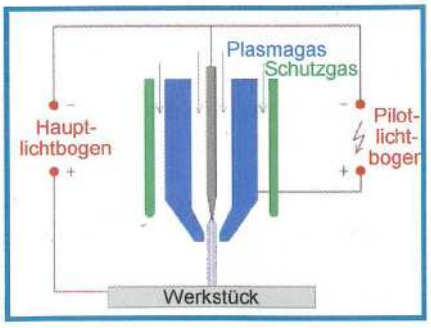


Bild 3. *Aufbau der Plasmadüse.*

von der Größe des Schmelzbades abhängig ist, Bild 2.

Verbessert werden konnte dies durch die Auswahl des Plasmaverfahrens, welches gegenüber dem Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) ein kleineres Schmelzbad aufweist. Üblicherweise verwendet man bei solchen Aufgabenstellungen zusätzlich ein An- und Auslaufblech. Dieses artgleiche Blech wird meist manuell vor und hinter das Rohr gelegt. Aufgrund der Taktzeiten und des automatischen Ablaufes musste hier eine Alternative gefunden werden. Als Lösung konnte hierbei eine spezielle Prozessführung ausgearbeitet werden, welche in Kombination aus dem Plasmaschweißverfahren mit einem speziellen Strom- und Plasmagasablauf und speziellen gekühlten Start- und Endblechen für ein reproduzierbares qualitativ hochwertiges Ergebnis sorgte.

Technologie – Auswahl des Schweißverfahrens

In Tabelle 2 werden die Schweißverfahren hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile in Bezug auf die Aufgabenstellung und die damit verbundenen Anforderungen hin bewertet. Diese Zusammenstellung bildete die Basis für die Entscheidung zur Plasmaschweißtechnik.

Das Metall-Inertgas-/Metall-Aktivgasschweißen (MIG/MAG) schied hierbei vor allem durch die Bindefehler am Nahtanfang und -ende, die Spritzer und die Überschreitung der maximalen Nahtüberhöhung von 10% aus. Diese war durch die beim MIG/MAG-Schweißen notwendige Werkstoffzugabe nicht ohne Nacharbeit in Form von Schleifen erreichbar. Das WIG-Schweißverfahren konnte in ersten Testreihen ebenfalls nicht überzeugen, da sich aufgrund der hohen Zündhäufigkeit schnell der Verschleiß der Elektroden in Form einer Verschlechterung der Schweißnahtqualität bemerkbar machte. Obwohl die Laserstrahlschweißtechnik bei der kontinuierlichen Rohrfertigung führend ist, waren vor allem der um den Faktor 10 bis 20 höhere Invest und aufgrund des extrem fokussierten Laserstrahls die Forderung nach Null-Spalt-Toleranz im Stoßbereich ausschlaggebend dafür, dass sich letztlich für das Plasmaschweißverfahren entschieden wurde.

Das Plasmaschweißen konnte durch die längeren Standzeiten der Verschleißteile, die schmalere Naht und die höhere Schweißgeschwindigkeit gegenüber dem WIG-Schweißen punkten, sodass die Ausrichtung relativ schnell in Richtung des Plasmaverfahrens ging. Das Plasmaverfahren gibt es schon seit rund 30 Jahren, aber erst die neuen Entwicklungen im Bereich der Anlagen- und Brennertechnik sowie die gestiegenen Anforderungen an die Schweißverfahren haben dafür gesorgt, dass es vor allem im Bereich der Automobilindustrie mittlerweile einen hohen Stellenwert besitzt. Trotz der Verfahrensvorteile ist der Bekanntheitsgrad gering, da die Endanwender dieses aus Wettbewerbsgründen nicht gerne publik machen. Nachfolgend wird eine technische Zusammenfassung über die Wirkungsweise des Plasmaverfahrens gegeben.

Bild 4. *Ansicht der flexiblen Rohrschweißzelle der Firma Mig-O-Mat* ***(oben)*** *sowie Spannprozess und Plasmabrenner in der Startposition* ***(unten).***

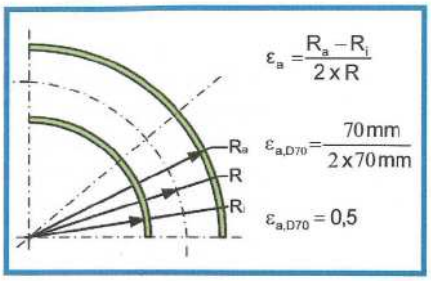


Bild 5. *Geometrische Berechnung der Dehnung im Außenrohrbogen.*

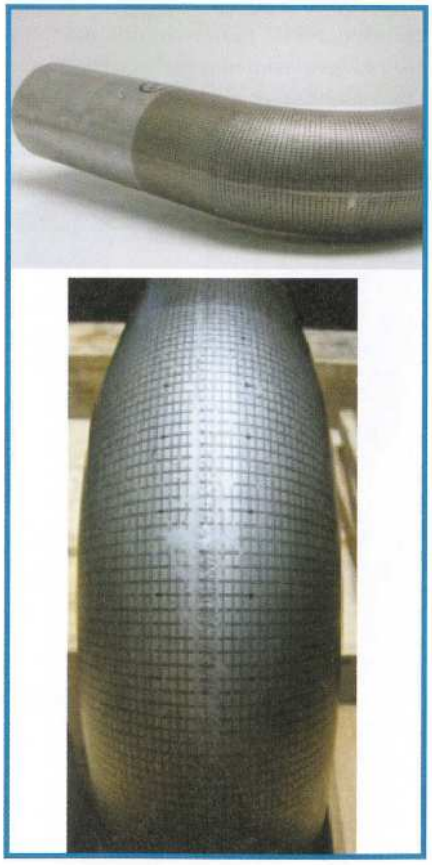


Bild 6. *Berastertes und gebogenes Rohr (Durchmesser 70 mm, Wanddicke 2 mm, Werkstoff 1.3401, Biegeradius R 1 x Durchmesser).*

Der Plasmaschweißprozess

Beim Plasmaschweißen brennt der Hauptlichtbogen ebenso wie beim WIG-Schweißen zwischen der Wolframelektrode und dem Werkstück. Im Gegensatz zum WIG-Verfahren wird der Lichtbogen beim Plasmaschweißen durch eine zusätzliche wassergekühlte Plasmadüse eingeschnürt. Zwischen der Wolframelektrode und der Plasmadüse wird ein Plasmagas, welches fast immer aus 100 % Argon besteht, geleitet, Bild 3.

Beim Plasmaschweißen brennt zwischen der Wolframelektrode und der Plasmadüse zusätzlich der Pilotlichtbogen. Der Pilotlichtbogen ionisiert die Lichtbogenstrecke und führt dazu, dass der Zündvorgang mit einer für das Plasmaschweißen charakteristischen außerordentlich hohen Zuverlässigkeit erfolgt. Die Stromstärke des Pilotlichtbogens beträgt zwischen 3 und 15 A. Das Plasmagas drückt den Pilotlichtbogen geringfügig aus der Plasmadüse heraus, so dass er hier als heller Lichtpunkt erkennbar ist.

Durch den speziellen Aufbau des Brennerkopfs kommt es beim Plasmalichtbogen zu zwei sich verstärkenden Effekten. Das Plasma zieht sich bei hohen Stromstärken zusammen. Diesen Vorgang bezeichnet man als elektromagnetischen Pincheffekt, der durch den thermischen Pincheffekt weiter verstärkt wird. Dieser beruht auf der Kühlwirkung der Düse und dem sich damit einschnürenden Lichtbogen. Der eingeschnürte Plasmalichtbogen besitzt im Vergleich zum den anderen konventionellen Lichtbogenschweißverfahren eine wesentlich höhere Energiedichte und eine geringere Strahldivergenz. Während der Durchmesser des WIG-Lichtbogens von der Elektrodenspitze bis zum Werkstück sehr stark zunimmt, wächst der Durchmesser des Plasmabogens nur geringfügig. Schweißstöße mit Spaltmaßen von 0,1 bis 0,3 mm können im Gegensatz zum Laserstrahlschweißen mit dem Plasmalichtbogen ohne Zusatzwerkstoff prozesssicher verschweißt werden. Dabei besteht die Schweißnaht aus reinem aufgeschmolzen Grundwerkstoff, was sich vor allem bei Edelstahlrohren positiv auswirkt, da die passivierende Eigenschaft des Grundwerkstoffs nicht aufgehoben wird. Die Schweißnaht zeigt im Salzsprühnebeltest (nach DIN EN ISO 9227 NSS) nach 120 h keinen Rost.

Längsnahtschweißanlage (Plasmaschweißzelle)

Erst auf den zweiten Blick kam die ganze Herausforderung an den Schweißprozess und die Anlagentechnik, Tabelle 3, zu Tage: Besonderes Augenmerk musste auf den Nahtanfang und das Nahtende gelegt werden, da das Rohr in diesem Bereich anschließend extrem hydraulisch verformt wird und Teile der Naht als Dichtflächen ausgelegt sind. Dies stellt die Schweißtechnik und den Maschinenbau vor eine schwierige Aufgabe. Aufgrund der Toleranzen und wechselnden Rohrlängen wird das Endblech automatisch positioniert. Auch die Anforderungen an Spann- und Führungsmaschine waren enorm. So sollte der gesamte Spann- und Schweißprozess der bereits gerundeten Blechplatinen weitgehend automatisiert mit Taktzeiten von maximal 30 s und ohne lange dauernde Umrüstarbeiten für die verschiedenen Durchmesser und Längen erfolgen. Hierbei durften natürlich der Sicherheitsaspekt und die Ergonomie des Arbeitsplatzes nicht vernachlässigt werden. Die Entscheidung fiel auf eine geschlossene Ka-

Tabelle 3. *Merkmale der Schweißanlage.*

- hohe Flexibilität im Bezug auf Durchmesser und Wanddicke
- keine Wechselteile
- automatischer Spann- und Scheißprozess
- kurze Umrüstzeiten bei Bauteilwechsel
- bedienerfreundlich dank mehrsprachigem, übersichtlichem „Touchdisplay"
- geringer Platzbedarf
- geringer Invest

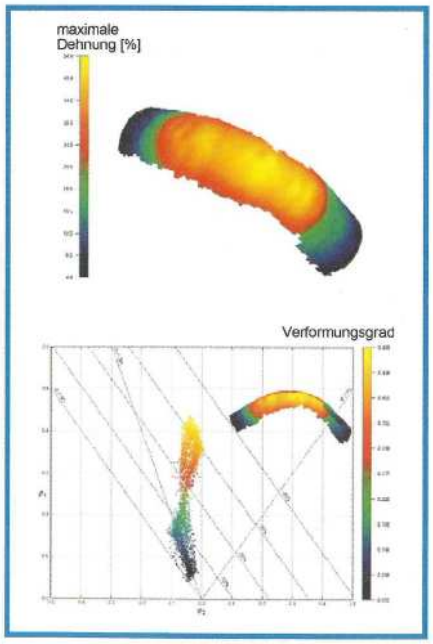


Bild 7. *Darstellung der Dehungsverteilung am Rohrbogen* ***(oben)*** *und Grenzformänderungsschaubild mit Dehnungspfad des Schweißnahtbereiches (****unten;*** *Autogrid, VIALUX).*

bine, welche durch eine Tür bestückt werden konnte, Bild 4.

Der gesamte Einlege-, Spann- und Schweißvorgang läuft wie folgt ab:

- ☐ Nahtlehre über Zweihandbedienung einschwenken,
- ☐ Rohrstück von Hand einlegen,
- ☐ Tür schließen und Starten des automatischen Spann- und Schweißvorgangs,
- ☐ Vorschieben des Rohrs an den Startring,
- ☐ Gleichzeitiges vertikales und horizontales Spannen,
- ☐ Anheben des Dorns zur Kühlung und zum Formiergasschutz,
- ☐ Ausschwenken der Nahtlehre,
- ☐ Einfahren des Endrings,
- ☐ Positionieren des Plasmabrenners am Startring und Lichtbogenzündung,
- ☐ Ablauf des Schweißprogramms mit Vorschub,
- ☐ Lichtbogen ausschalten und Gasnachströmen,
- ☐ Fahren des Brenners und der Spannelemente in Grundstellung,
- ☐ Freigabe zum Öffnen der Tür,
- ☐ Türöffnen und manuelle Entnahme des fertig geschweißten Rohrs.

Untersuchung zum Umformverhalten der Plasmaschweißnaht

Der Grundlagenversuch zur Beurteilung der umformtechnischen Eigenschaft der Plasmaschweißnaht erfolgte in der Zusammenarbeit des Lehrstuhls für Umformtechnik und Werkzeugmaschinen an der Universität Siegen. Der Nachweis, dass die Schweißnaht dem logarithmischen Umformgrad von 45% standhält, erfolgte in einem Rohrbiegeversuch, bei dem die Schweißnaht im Außenbogen gedehnt wird. Die Vorüberlegung erfolgt durch eine geometrische Abschätzung, nach der in der äußeren Randfaser 50% Dehnung zu erwaren sind, wenn man ein Rohr mit Durchmesser 70 mm, Wanddicke 2 mm, Werkstoff 1.4301, einem Biegeradius von 1 x Durchmesser unterzieht, Bild 5.

Zunächst wurde das plasmageschweißte Rohr auf Dichtheit geprüft und eine elektrochemische Berasterung aufgetragen. Nach dem Biegeprozess, in dem die Schweißnaht in der äußeren Randfaser des Bogens positioniert wurde, erfolgte eine erneute Leckageprüfung mit dem Ergebnis, dass die Plasmaschweißnaht nach der Biegeoperation weiterhin dicht ist.

Bild 8. *Fertig hydraulisch umgeformtes Bauteil.*

Die Auswertung der Berasterung ergab, dass die Dehnung im Außenbogen und damit auch in der Schweißnaht im Bereich von 45% liegt. Die Abweichung gegenüber der zu erwartenden 50-%-Dehnung lässt sich durch einen leichten Einfall des Außenbogens erklären, Bild 6.

Betrachtet man das zugehörige „forming limit diagram" (FLD), Bild 7, so erkennt man, dass der Außenbogen samt der Schweißnaht etwa dem Dehnungspfad eines Zugversuchs folgt. Im Zugversuch erreicht die Werkstoffprobe 1.4301 eine Gleichmaßdehnung von 54%. Damit ist der Nachweis erbracht, dass sich das Rohr der Abmessung 70 mm x 2 mm samt der außen liegenden Schweißnaht prozesssicher mit einem Biegeradius R = 1 x Durchmesser fertigen lässt, ohne dass die Plasmaschweißnaht aufreißt.

Ergebnis

Der Praxistest erfolgte an einem Kundenbauteil mit hohen Umformgraden. Dabei wurden an mehreren hundert plasmageschweißten Rohrabschnitten in einem hydraulischmechanischen Umformverfahren die Endkontur ohne Werkstoff- oder Schweißnahtversagen angeformt, Bild 8. Der Praxistest wurde mit Erfolg bestanden.

T. Schumacher, Burbach, und O. Selter, Siegen

Anzeige

Rohre automatisch Schweißen!

ELENA VI mit automatischer Spannvorrichtung:

Reduzieren Sie ihre Taktzeiten bei der Rohrfertigung mit einer ELENA VI. Sie kombiniert unsere bekannte, präzise Spanntechnik mit einer cleveren automatischen Rohrspannvorrichtung zu einer schnellen Fertigungslösung. z.B.:

Schweißen von Kaminrohren (1000 mm)

45 Sekunden Taktzeit incl. Laden und Entladen

- Nahtlänge 1000 mm
- s = 0,5 mm
- V_s = 400 cm/min (WIG)
- Ø 80 – 410 mm

Durchmesserverstellung: zentrales Handrad oder automatisch nach Programmwahl

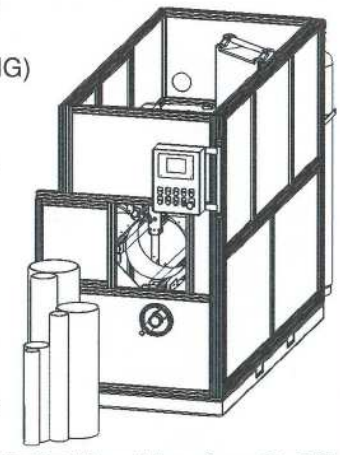
Baureihe für Spannlängen: 1100, 1300, 1600 mm

Blechstärken: s = 0,5 – 1,0 mm

Materialien: Stahl, rostfreier Stahl, Aluminium, (Kupfer, Titanzink)

Schweißverfahren: WIG, Plasma, Laser

Komfortable Maschinensteuerung: Siemens S7 mit Touchscreen



SCHNELLDORFER Maschinenbau GmbH

Kappelweg 6 | 91625 Schnelldorf | Deutschland
Tel.: +49 7950 9889-0 | Fax: +49 7950 9889-29
E-Mail: info@schnelldorfer-maschinenbau.de
Internet: www.schnelldorfer-maschinenbau.de