

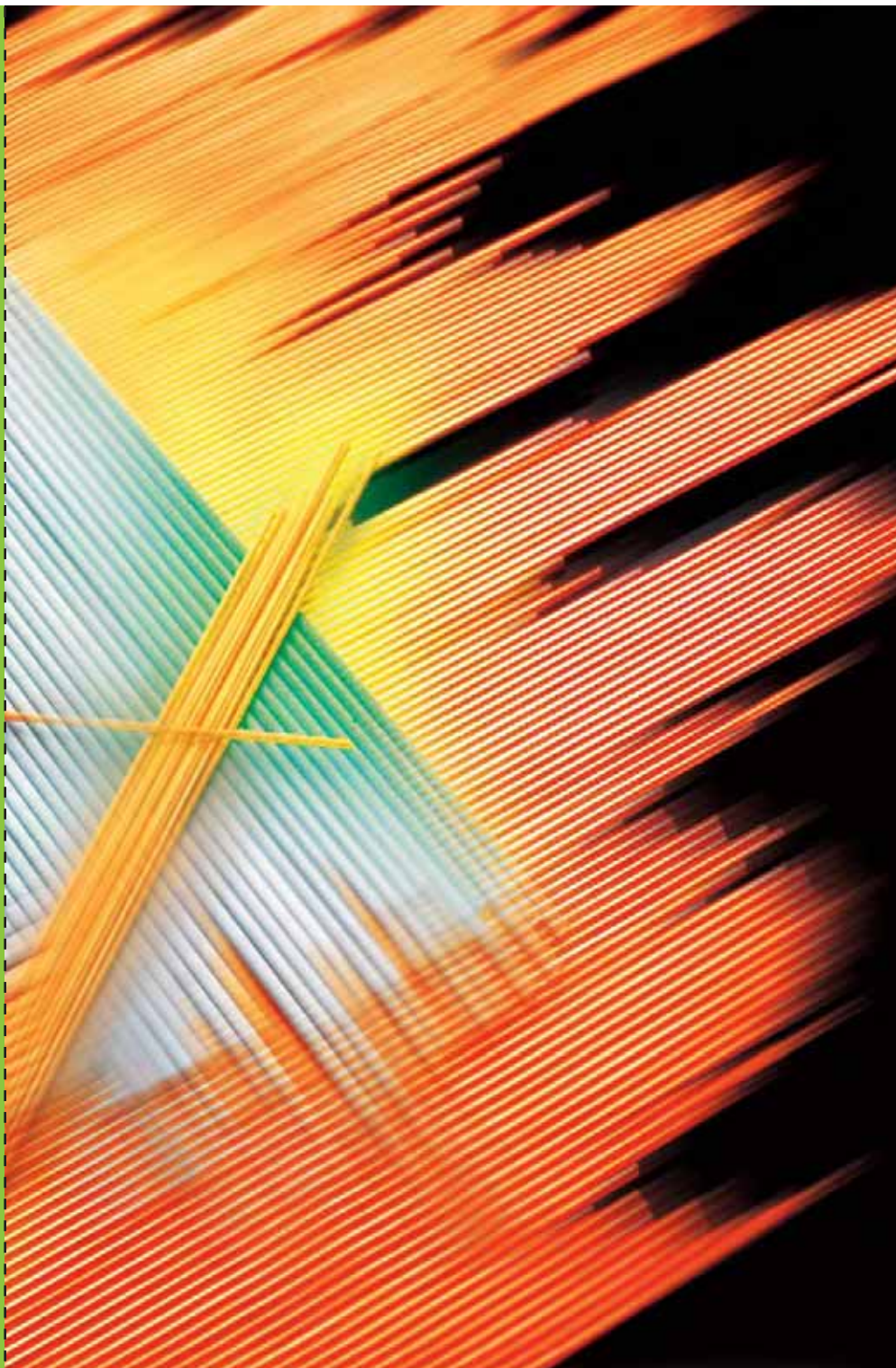
The technical journal of Oerlikon welding and cutting expertise.

Das technische Magazin von Oerlikon.
Kompetenz für Schweißen und Schneiden.



COMPETENCE

Competence



Development of Welding Consumables and Procedures for Steel Grade 92 **5**

Welding with Flux-Cored Wires in Shipbuilding **13**

Plasma Welding: Evolutions & Challenges **22**

Entwicklung von Schweißzusätzen und Verfahren für den Werkstoff P/T 92 **5**

Schweißen mit Fülldrahtelektroden im Schiffbau **13**

Neue Wege und Herausforderungen beim Plasmaschweißen **22**



COMPETENCE

Foreword

In the previous edition of OERLIKON Competence, N. Monier was looking forward to the 50th anniversary of the Air Liquide Technical Centre for welding & cutting applications or CTAS. This event took place in January 2008 and there were 150 attendees helping to make this a great success, with guests coming from all over the world and representing industry and research institutes alike. It created an opportunity to focus on innovation and we were delighted to receive such positive feedback from our distinguished guests.

During 2006, a programme to introduce the new corporate identity of OERLIKON brand began and indeed the introduction of this journal was part of the programme. As part of this continuing programme, new products have been introduced into the OERLIKON product ranges many for new and specialised applications. These include welding consumables for liquid natural gas transport and storage and power generation applications. The OERLIKON welding consumable product range is now structured with an applications focus and is among the most globally comprehensive available. Welding consumables are accompanied by extensive ranges of welding and cutting equipment, manual through to fully automated installations, flame and workplace products. So, if you have not visited an OERLIKON web site recently, please take a few moments to browse and we hope you will find this both interesting and informative.

This third edition of OERLIKON Competence contains the first in a trilogy of technical papers, jointly authored between Air Liquide CTAS, Alstom and AVD Consulting concerning the successful development of welding consumables for Grade 92 steel for power generation applications. This is recognised as one of the most challenging and complex metallurgical areas of welding consumable development. An applications based paper from ALW Germany details the advantages of using cored wires in shipbuilding and the special characteristics of the OERLIKON FLUXOFIL cored wires for gas shielded welding and FLUXOCORD wires for submerged arc welding. Plasma welding applications and challenges presents an overview of the state of the art from Air Liquide CTAS and derives from a recent presentation to the International Institute of Welding, IIW.

These technical papers were selected for inclusion in OERLIKON Competence by the Editorial Panel, comprising:

- N. Monier, CTAS
- C. de Giorgi, ALW - Expert
- B. Schlatter, ALW - Expert
- D.S. Taylor, ALW

The editor is G. Roure, ALW

KOMPETENZ

Vorwort

In unserer zweiten Ausgabe von OERLIKON Competence gab N. Monier einen Ausblick auf die bevorstehenden Feierlichkeiten zum 50-jährigen Jubiläum des CTAS, unseres Air Liquide Welding Forschungszentrums für Schweißen und Schneiden. Dieses Ereignis fand im Januar 2008 statt und 150 Teilnehmer aus der ganzen Welt, sowohl aus der Industrie als auch von anderen Forschungseinrichtungen, machten es zu einem großen Erfolg. Dieses Jubiläum war die Gelegenheit, sich einmal ganz auf neue Entwicklungen zu konzentrieren und wir haben uns sehr über die vielen positiven Rückmeldungen unserer Gäste gefreut.

Bereits im Jahre 2006 wurde mit den ersten Aktionen zur Einführung des neuen Erscheinungsbildes für die Marke OERLIKON begonnen und auch die Veröffentlichung dieser Fachzeitschrift gehörte zu den Neuerungen. Ein weiterer Schwerpunkt in diesem noch laufenden Projekt war es, neue Produkte in das OERLIKON Angebot aufzunehmen, die viele spezielle Anwendungen abdecken. Dazu gehören Schweißzusätze für Transport und Lagerung von flüssigem Erdgas sowie für den Kraftwerksbereich. Die Struktur des OERLIKON Schweißzusatzprogramms orientiert sich jetzt stärker an Anwendungssegmenten und das Angebot gehört zu den umfassendsten weltweit. Ergänzt wird es durch eine komplette Reihe an Schweiß- und Schneidgeräten, von manuellen Anwendungen bis hin zu Automationsanlagen, Autogentechnik und Arbeitsplatzausstattung. Wenn Sie also in letzter Zeit keine OERLIKON Website besucht haben, nehmen Sie sich ein wenig Zeit, durch unser interessantes und informatives Angebot zu surfen.

Die dritte Ausgabe von OERLIKON Competence enthält den ersten Beitrag einer dreiteiligen Reihe von Fachaufsätzen, die das Forschungszentrum der Air Liquide gemeinsam mit Alstom und AVD Consulting verfasst hat. Es geht um die erfolgreiche Entwicklung von Schweißzusätzen für den Werkstoff P/T 92 für Kraftwerksanwendungen. Bei der Entwicklung von Schweißzusätzen gehört dies zu den komplexesten Gebieten mit höchsten metallurgischen Anforderungen. Der Anwendungsbericht von ALW Deutschland befasst sich mit den Vorteilen von Fülldrähten im Schiffbau und den besonderen Eigenschaften der OERLIKON FLUXOFIL-Drähte zum Schutzgasschweißen und FLUXOCORD-Drähte zum UP-Schweißen. Der Beitrag zu Anwendungsmöglichkeiten und Herausforderungen beim Plasmaschweißen gibt einen Überblick über den derzeitigen Stand der Technik und wurde vor kurzem beim IIW (International Institute of Welding) vorgestellt.

N. Mangeot-Gehin
Marketing & Innovation Director
Air Liquide Welding

Competence - Issue 3

Introduction

Welcome to the third edition of COMPETENCE, the journal of welding technology edited by OERLIKON. We are very pleased with the positive feedback from readers and the growing number of subscribers. This is both an incentive and a commitment for the future for us. In this issue there are three articles covering different technical aspects of welding. On the one hand we are presenting new welding consumables and on the other we are describing application developments using established and well-proven products.

The first article is part one of a trilogy on the development of creep-resistant welding consumables for 9%-Cr steels and their variants. Two more articles on this subject will follow in subsequent issues of OERLIKON Competence. The second paper concerns cost-effective applications of flux-cored wires in shipbuilding and the third concerns application developments in plasma welding.

“Development of Welding Consumables and Procedures for Steel Grade 92” by A. Vanderschaeghe, J. Gabrel and C. Bonnet describes a cooperative project between Air Liquide Welding and partners for welding consumables and applications development, a perfect starting position in order to achieve results tailored for practical fabrication. During the past few years great progress has been made in the field of creep-resistant materials allowing designers to reduce material thickness thus contributing at the same time to a reduction of costs. However, in order to be able to fully benefit from the advantages offered by these materials it is necessary to have welding consumables with the same characteristics. The complete range of welding consumables for the material P/T 92 has been developed by OERLIKON (OE CARBOROD WF 92 TIG-rod, OE CROMOCORD 92 MMA electrode and OP F500/OE CROMO SF 92 submerged arc wire/flux combination) enabling the user to profit from the full potential in terms of economy. The article presents the first steps in the development of P/T 92 consumables that were carried out in collaboration with Alstom. After qualification testing the products were used for the main steam piping of a power plant in Denmark.

“Welding with Flux-Cored Wires in Shipbuilding” by D. Haupt and B. Schlatter. An overview is given of the different production techniques for flux-cored wires and the characteristics resulting from them. The OERLIKON Fluxofil process is emphasised as being particularly advantageous, especially in challenging working environments such as shipyards. The three filling types are described – rutile – OE FLUXOFIL 14HD; basic – OE FLUXOFIL 31; metal-powder – OE FLUXOFIL M10 – above all the rutile type with a fast freezing slag is particularly cost-effective especially for positional welding. FLUXOFIL 14 HD is used frequently for applications such as the fully mechanised welding of circular joints with the MAG orbital welding machine OE CITOTRACK OSG 01 or for vertical welding with OE CITOTRACK VSG 01. Similar processes such as electro-gas welding and of course submerged-arc welding are carried out with OERLIKON flux-cored wires when both high productivity and a high level of mechanical properties are required. Micro-alloyed flux-cored wires such as OE FLUXOCORD 35.25 in combination with the flux OE OP 122 are used in such applications.

“Plasma Welding : Evolutions & Challenges” by Jean-Marie Fortain. A short summary of the history of the development of plasma welding is given before describing the current possibilities of use for this welding process. Typical applications include the fabrication of high-pressure vessels and pipe-welding, which are presented and described in detail with exact parameter indications for different sheet thicknesses. Hybrid technologies are also presented. In addition, the paper deals with the development of suitable welding heads and mixed gases for thin-sheet welding in automobile construction where sheets of < 0.5mm can be processed using micro-plasma-technology. Optimisation measures for welding high-alloyed steel sheet and aluminium alloys in thicker sections (7 to 10 mm) are also considered.

We hope that this latest issue of OERLIKON Competence will be interesting for you. If you are a subscriber to the magazine and you know colleagues who may be interested in receiving this journal automatically in the future, please give them the enclosed reply card or inform them about our website. www.oerlikon-welding.com.

Thank you,
Bernhard Schlatter - Senior Product Manager Oerlikon Germany
Air Liquide Welding - Expert

Competence - Heft 3

Einleitung

Herzlich willkommen bei der dritten Ausgabe von COMPETENCE, der OERLIKON Zeitschrift für Schweißtechnik. Wir freuen uns sehr über Ihre positiven Rückmeldungen zu unseren bisherigen Ausgaben und die wachsende Zahl an Abonnenten. Das ist für uns ein weiterer Ansporn. In der dritten Ausgabe unseres Fachmagazins haben wir wieder drei Beiträge für Sie ausgewählt, die sich mit verschiedenen Themenbereichen befassen. Berichtet wird sowohl über Neuentwicklungen auf dem Gebiet der warmfesten Schweißzusätze sowie über Anwendungen und Einsatzmöglichkeiten bereits bewährter Produkte.

Der erste Artikel ist der Beginn einer dreiteiligen Reihe, die sich mit der Entwicklung warmfester Schweißzusätze für 9% Cr-Stähle bzw. deren Varianten befasst. Weitere Artikel zu diesem Thema werden in den nächsten Competence Ausgaben folgen. Im zweiten Artikel wird die Wirtschaftlichkeit der Fülldrahtelektrode beim Einsatz im Schiffbau beschrieben, während es im dritten Artikel um die Einsatzmöglichkeiten des Plasmaschweißens geht.

“Entwicklung von Schweißzusätzen und Verfahren für den Werkstoff P/T 92” von A. Vanderschaeghe, J. Gabrel und C. Bonnet beschreibt ein Gemeinschaftsprojekt zwischen Entwicklung und Anwendern - die ideale Voraussetzung, um zu praxistgerechten Ergebnissen zu gelangen. In den letzten Jahren wurden gerade auf dem Gebiet der warmfesten Werkstoffe deutliche Fortschritte gemacht, die es erlauben, dünnwandiger und damit kostengünstiger zu fertigen. Um die Vorteile dieser neuen Werkstoffe nutzen zu können, ist es erforderlich, gleichartige Schweißzusätze einzusetzen. OERLIKON hat mit der Entwicklung einer kompletten Reihe von Schweißzusätzen für den Werkstoff P/T 92 - OE CARBOROD WF 92 als WIG-Stab, OE CROMOCORD 92 als Stabelektrode und OP F500/OE CROMO SF 92 als Draht-Pulver-Kombination - Produkte geschaffen, die dem Verarbeiter die Möglichkeit eröffnen, diese Wirtschaftlichkeitsvorteile auszuschöpfen. Der Artikel beschreibt die ersten Entwicklungsschritte für P/T 92 - Schweißzusätze, die gemeinsam mit einem Verarbeiter (Alstom) durchgeführt wurden. Die dabei entwickelten Produkte wurden nach erfolgreichen Verfahrensprüfungen beim Bau der Hauptdampfleitung eines Kraftwerkes in Dänemark eingesetzt.

“Schweißen mit Fülldrahtelektroden im Schiffbau” von D. Haupt und B. Schlatter gibt einleitend einen Überblick über die verschiedenen Herstellungstechnologien bei Fülldrahtelektroden und die sich daraus ableitenden Eigenschaften. Das OERLIKON Fluxofil-Verfahren wird dabei als besonders vorteilhaft, speziell für den rauen Wertbetrieb hervorgehoben. Bei den drei Füllungsvarianten - rutil - FLUXOFIL 14HD; basisch - FLUXOFIL 31; Metallpulver - FLUXOFIL M10 - zeichnet sich insbesondere der Rutil gefüllte Typ mit schnell erstarrender Schlacke durch eine hohe Wirtschaftlichkeit bei Positionsschweißungen aus. Gerade bei voll mechanisierten Schweißungen von Rundnähten mit dem MAG-Orbitalgerät CITOTRACK OSG 01 bzw. dem senkrechten Schweißen mit CITOTRACK VSG 01 wird der FLUXOFIL 14HD häufig eingesetzt. Verfahrensvarianten wie das Elektrogasschweißen und natürlich auch das Unterpulverschweißen werden oft dann mit Fülldrahtelektroden durchgeführt, wenn hohe Wirtschaftlichkeit gepaart mit hohen Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften verlangt sind. Mikrolegierte Fülldrähte wie FLUXOCORD 35.25 in Verbindung mit OP 122 kommen dann zum Einsatz.

“Neue Wege und Herausforderungen beim Plasmaschweißen” von Jean-Marie Fortain beschreibt nach einem kurzen historischen Rückblick über die Entwicklungsgeschichte des Plasmaschweißens die heutigen Einsatzmöglichkeiten dieses Schweißprozesses. Für den Bereich der Druckbehälter und Rohrfertigung werden typische Anwendungen aufgezeigt und mit exakten Parameterangaben für verschiedene Blechdicken genau beschrieben. Auch die Hybrid-Technologien werden angesprochen. Im Weiteren befasst sich der Artikel mit der Entwicklung geeigneter Schweißköpfe und Gasgemische für die Dünnblechschweißung im Fahrzeugbau, wo im Mikro-Plasmaprozedur Blechdicken <0,5mm verarbeitet werden. Optimierungsmaßnahmen für das Schweißen größerer Blechdicken (7-10 mm) bei hochlegierten Stählen und Aluminium-Materialien werden ebenso genannt.

Wir hoffen, dass auch die dritte Ausgabe von OERLIKON Competence Ihr Interesse findet. Sollten Sie als registrierter Leser Kollegen kennen, die ebenfalls Interesse an einer künftigen Zustellung haben, geben Sie bitte die Antwortkarte weiter oder verweisen Sie auf unsere Website www.oerlikon-welding.com.

Vielen Dank,
Bernhard Schlatter - Leiter Technischer Dienst Oerlikon Deutschland
Air Liquide Welding - Expert

Development of Welding Consumables and Procedures for Steel Grade 92.

The use of steel grade 92 rather than grade 91 for creep-resistant equipment makes it possible to achieve a 30% gain on the admissible stress at 600 °C. As a result, a significant reduction in construction thickness can be obtained. In addition to allowing for a weight reduction and therefore a cost reduction for the power plant, manufacturing time can also be minimised, which makes this type of steel particularly attractive. However, it is necessary to use welding consumables that produce similar levels of creep resistance in the weld metal deposit as in the base metal in order to take full advantage of the properties of this steel.

The present results demonstrate that, after a careful adjustment of the chemical analysis of the weld metal, it is possible to obtain an acceptable trade-off between creep resistance and toughness after post-weld heat treatment.

Based on the various chemical analyses defined throughout the present project, a metal-cored wire for GTA welding⁽¹⁾, SMAW electrodes⁽²⁾, and a SAW flux / cored wire combination⁽³⁾ were industrialised by Air Liquide Welding and the welding operating modes were qualified by Alstom in 2001 and subsequently used for assembling the main steam piping of the supercritical power plant at Avedore, Denmark.

This paper is the first of a trilogy in the OERLIKON journal "Competence" dedicated to the development history of the 92 steel grade welding consumables.

INTRODUCTION

The development of welding consumables for the P92 steel grade has been carried out by Air Liquide Welding in several phases over the last ten years. This development history shall be retraced in the OERLIKON journal "Competence". This article reports on the results obtained up to 2001, and was first published at the AFIAP (Association française des ingénieurs en appareils à pression - French Association of Pressure Equipment Engineers) Conference.

Alstom and Air Liquide Welding have worked in close collaboration to develop such consumables.

Entwicklung von Schweißzusätzen und Verfahren für den Werkstoff P/T 92.

Durch die Verwendung des Werkstoffes P/T 92 anstelle von P/T 91 bei warmfesten Anlagen kann eine Erhöhung von 30% bei der zulässigen Spannung bei 600 °C erreicht werden. Dadurch ist eine deutliche Verringerung der Blechdicken möglich. Hinzu kommt, dass dies zu einer Gewichtsreduzierung und damit zu einer Kostensenkung führt und die Produktionszeiten verkürzt. All dies macht diesen Stahltyp sehr attraktiv. Um die Vorteile zu nutzen, ist es aber notwendig, Schweißzusatzwerkstoffe einzusetzen, deren Schweißgut ähnliche warmfeste Eigenschaften erreicht wie der Grundwerkstoff.

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass durch eine sorgfältige Anpassung der chemischen Zusammensetzung des Schweißgutes ein akzeptabler Kompromiss zwischen Warmfestigkeit und Zähigkeit bei entsprechender Wärmbehandlung erzielt werden kann.

Basierend auf den verschiedenen chemischen Analysen, die im Laufe dieser Untersuchung erstellt wurden, hat ALW einen Metallpulverfülldraht zum WIG-Schweißen⁽¹⁾, Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen⁽²⁾ sowie eine Draht-Pulver-Kombination zum UP-Schweißen⁽³⁾ industrialisiert. Die entsprechenden Schweißtechnologien wurden von Alstom qualifiziert, die dann die Schweißzusätze für den Bau der Hauptdampfleitung des Kraftwerkes in AVEDORE in Dänemark einsetzen.

Dieser Artikel ist der erste einer dreiteiligen Competence-Reihe zur Entwicklungsgeschichte der P92 Zusatzwerkstoffe bei ALW.

EINLEITUNG

Die Entwicklung von Schweißzusätzen für den Werkstoff P92 wurde von ALW innerhalb der letzten zehn Jahre vorangetrieben. Diese Entwicklungsgeschichte wird in den folgenden Competence-Ausgaben nachvollzogen. Dieser erste Artikel berichtet über die bis 2001 erzielten Ergebnisse und wurde erstmals bei der AFIAP-Konferenz veröffentlicht.

Alstom und Air Liquide Welding haben bei der Entwicklung dieser Zusatzwerkstoffe eng zusammengearbeitet.

⁽¹⁾ GTA welding : Oerlikon CARBOROD WF 92 ⁽³⁾ SAW : Oerlikon OP F 500 flux
⁽²⁾ SMAW : Oerlikon CROMOCORD 92 Oerlikon CROMO SF 92

DEVELOPMENT OF WELDING CONSUMABLES

As defined by the ASTM A-335, steel grade 92 must conform to the chemical and mechanical specifications shown in Tables 1 and 2.

Table 1: Steel grade 92 - Chemical specifications according to ASTM A-335

	C	Mn	S	P	Si	Cr	Mo	V	N	Ni	Al	Nb	W	B
Min.	0.07	0.30				8.50	0.30	0.15	0.03			0.04	1.5	0.001
Max.	0.13	0.60	0.010	0.020	0.5	9.50	0.60	0.25	0.07	0.40	0.04	0.09	2.00	0.006

Tabelle 1: Stahl P/T 92 –Spezifikation der Analyse nach ASTM A-335

Table 2 - Steel grade 92 – Minimum guaranteed values according to ASTM A-335

Rm (N/mm ²)	Rp (N/mm ²)	A (%)
620	440	L : 20 T :13

In the framework of this study, we set out to obtain mechanical characteristics in welded joints that were at least equal to the minimum guaranteed values for steel grade 92. Furthermore, the construction regulations for boilers imposed minimum v-notch toughness values of 35 J/cm² at ambient temperature. We also set ourselves creep resistance target values that were higher than the minimum for the scatterband of the steel, according to the information provided by the Nippon Steel “Data Package” [1].

Two conditions were considered:

- The tempered condition after welding which concerns all procedures (760 °C for 4 hours),
- The normalised/tempered condition, applicable to submerged arc welding, as, from a mass-production perspective, it is beneficial to be able to join and bend the tubes before performing the normalising treatment at 1060 °C, followed by tempering at 760 °C for 4 hours.

SMAW electrodes

In order to prevent the formation of a δ ferrite network, which is detrimental to the properties of toughness and creep resistance, austenite stabilising elements must be added to the basic analysis of the grade 92 steel. Both nickel and cobalt can be used for this purpose; in an initial development phase, we created three formulae for the same base: one containing 0.5% nickel and the two others containing 1% and 2% cobalt respectively.

25 mm-thick all-weld metal test plates, with a pre-buttered bevel and backing bar, were manufactured using a preheating temperature of 150 °C and an interpass temperature of less than or equal to 250 °C. The chemical compositions, toughness values after treatment at 760 °C for 4 hours and the transformation temperatures determined by dilatometry at a heating rate of 100 °C/hour, are shown in the tables below.

Table 4 - Toughness values at ambient temperature and transformation points

Rep.	KCV +20 °C (J/cm ²)	AC1 (°C)	AC3 (°C)
0.5 Ni	119; 103; 84	795	893
1 Co	106; 99; 96	818	905
2 Co	96; 103; 106	791	865

The three formulae produce highly satisfactory toughness values. The addition of austenite stabilising elements leads to a reduction in the transformation temperatures, with nickel having the most significant effect from this point of view; nevertheless,

ENTWICKLUNG DER SCHWEISSZUSATZWERKSTOFFE

Gemäß ASTM A-335 muss der Werkstoff P/T 92 die folgenden chemischen und mechanischen Anforderungen erfüllen (Tabellen 1 und 2):

Tabelle 2 - Stahl P/T 92 – Mechanische Eigenschaften nach ASTM A-335 (min. Werte bei RT)

Rm (N/mm ²)	Rp (N/mm ²)	A (%)
620	440	längs: 20 quer:13

Im Rahmen dieser Studie hatten wir uns das Ziel gesetzt, bei den Schweißverbindungen mechanische Eigenschaften zu erreichen, die den garantierten Mindestwerten für P/T 92 zumindest gleichwertig sind. Außerdem verlangen die technischen Regelwerke eine Mindestkerbschlagzähigkeit von 35 J/cm² bei Raumtemperatur. Bei der Zeitstandfestigkeit setzten wir uns Zielwerte, die über den Mindestanforderungen für das Streuband dieses Stahls liegen (nach einer Information von Nippon Steel “Data Package” [1]).

Zwei Zustände wurden betrachtet:

- angelassen, für alle Verfahren (760 °C / 4h),
- normalisiert und angelassen, bei UP-Nähten, da es in der Praxis üblich ist, die Rohre zu verbinden und zu biegen und dann bei 1060 °C zu normalisieren und bei 760 °C für 4h anzulassen.

Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen

Um die Bildung eines Delta-Ferrit-Netzwerks zu vermeiden, das sich negativ auf die Zähigkeits- und Warmfestigkeitseigenschaften auswirkt, müssen der Basisanalyse von P/T 92 - Stahl Austenit bildende Elemente zugegeben werden. Dafür können Nickel und Kobalt eingesetzt werden. Zu Beginn entwickelten wir drei Formeln auf derselben Basis: die erste mit 0,5% Nickel und die beiden anderen jeweils mit 1% bzw. 2% Kobalt.

25mm dicke Schweißgutproben wurden mit einer Vorwärmtemperatur von 150 °C und einer Zwischenlagentemperatur von max. 250 °C hergestellt. Die chemische

Zusammensetzung, die Zähigkeitswerte nach Wärmebehandlung bei 760 °C / 4h sowie die Umwandlungstemperaturen, die mittels Dilatometrie mit einer Erwärmung

Table 3: Chemical analyses of the all-weld metal

Rep	C	Mn	S	P	Si	Cr	Mo	V	N ppm	Ni	Co	Nb	W	B ppm
0.5 Ni	0.11	1.06	0.005	0.013	0.17	9.6	0.55	0.20	530	0.52	0.01	0.055	1.94	< 5
1Co	0.10	1.03	0.007	0.013	0.17	9.1	0.52	0.19	550	0.08	0.94	0.051	1.77	< 5
2Co	0.10	1.05	0.007	0.013	0.17	9.1	0.51	0.19	490	0.06	2.0	0.05	1.71	< 5

Tabelle 3: Chemische Analyse der Proben

von 100 °C/h untersucht wurden, finden Sie in der nachstehenden Tabelle.

Tabelle 4 - Zähigkeitswerte bei Raumtemperatur und Umwandlungspunkte

Probe	KCV +20 °C (J/cm ²)	AC1 (°C)	AC3 (°C)
0.5 Ni	119; 103; 84	795	893
1 Co	106; 99; 96	818	905
2 Co	96; 103; 106	791	865

Alle drei Formeln erreichten sehr gute Zähigkeitswerte. Der Zusatz Austenit bildender Elemente führt zu einer Senkung der Umwandlungstemperatur, wobei Nickel aus diesem Blickwinkel betrachtet den stärksten Effekt hat. Die AC1 Punkte

the AC1 points were considered to be high enough above the temperature of the post-weld heat treatment for there to be no risk of it being exceeded in an industrial treatment.

In this context and in order to allow for a very quick comparison of these three formulae, isobaric creep tests were performed under a stress of 85 MPa: a value which corresponds to the service-load stress used for the pipework calculations. All the results shown in Figure 1, for periods of between 100 and 8,000 hours, were compared with the minimum and maximum values for the P92 base material according to the information provided in the Nippon Steel Data Package [1].

The creep results for these three formulae are not fundamentally different and, for the longest times, are well below the minimum values for the steel. Nevertheless, the first results that were obtained (time < 1000 hours), are within the scatterband for the steel and point to the slight superiority of the electrode with nickel, which prompted us to develop a new formula containing 0.5% nickel doped with boron.

The addition of boron results in very clearly improved creep resistance, which now rises above the minimum values for the steel. This satisfies the criteria established at the start of this study (Figure 1).

As shown in Figure 2, creep tests carried out under different stresses confirm this trend. However, the addition of boron also results in lower toughness values; nevertheless, they remain acceptable and satisfy our initial criteria (Table 5).

Table 5 - Mechanical characteristics of the all-weld metal after treatment at 760 °C for 4 hours - 0.5 Ni + B Electrode -

Rm Rp (N/mm ²)	A%	Σ%	HV10	KCV (J/cm ²)	
				+ 20 °C	0 °C
785 641	17.4	59	245	63; 70; 79	45; 43; 51

In this context, we decided to industrialise the 0.5% Ni + B formula.

Submerged arc

A flux / cored wire combination was developed shortly after the SMAW electrodes.

Firstly, we selected the flux upon which we would base the formula for the metal cored SAW wire, in order to obtain the desired results in the weld metal. From a metallurgical point of view, it is desirable to use a very basic flux in order obtain the lowest possible oxygen content in the weld metal and minimise the inclusion rate, thus increasing the ductile fracture energy. However, the flux must also have a good operating behaviour, i.e. it must offer good arc stability, wetting of the weld beads and, above all, very good slag

liegen nach unserer Einschätzung weit genug über der Wärmebehandlungstemperatur, so dass keine Gefahr besteht, diese in der Praxis zu überschreiten.

Fig.1: Creep tests under a stress of 85 MPa

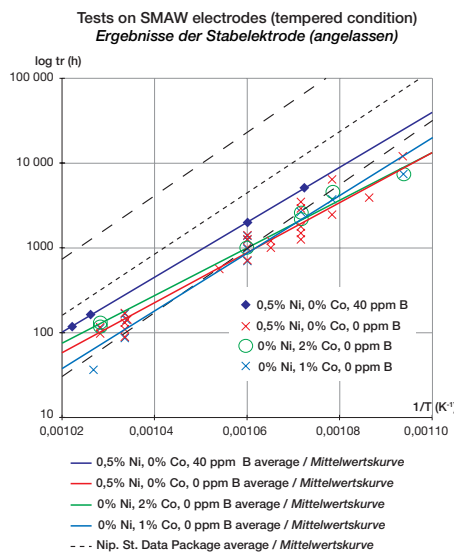


Bild 1: Zeitstandversuche bei 85MPa

Die Zugabe von Bor führt zu einer wesentlichen Verbesserung der Kriechfestigkeit, die jetzt über die Mindestwerte für diesen Stahl ansteigt. Damit werden die zu Beginn dieser Untersuchung definierten Kriterien erfüllt. (Bild 1).

In diesem Zusammenhang und um einem schnellen Vergleich der drei Formeln zu ermöglichen, wurden bei einer Spannung von 85 MPa isobare Zeitstandversuche durchgeführt. 85 MPa entsprechen dem Betriebsbelastungsdruck, der für Rohrleitungsberechnungen herangezogen wird. Alle Ergebnisse aus Bild 1, für Zeiträume zwischen 100 und 8000 h, wurden mit den Minima und Maxima für den P92 Grundwerkstoff gemäß der Information von Nippon Steel Data Package [1] verglichen.

Die Zeitstandwerte bei diesen drei Formeln unterscheiden sich nur unwesentlich und liegen meist deutlich unter den Mindestwerten für diesen Stahl. Lediglich die ersten Ergebnisse bei Prüfzeiten von < 1000 h lagen innerhalb des Streubandes und deuten auf eine leichte Überlegenheit der Elektrode mit Nickel hin. Dies führte uns zur Entwicklung einer neuen Formel mit 0,5% Nickel, die mit Bor dotiert ist.

Fig.2: Creep tests on weld metal from SMAW electrodes

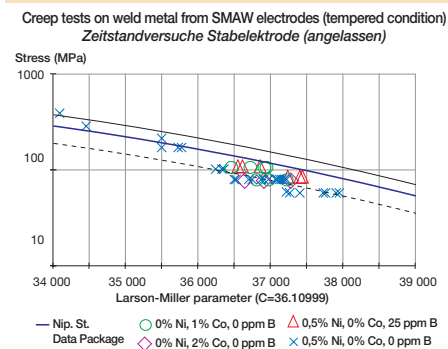


Bild 2: Zeitstandversuche am Schweißgut von Elektroden zum Lichtbogenschweißen

Die in Bild 2 dargestellten Zeitstandversuche unter verschiedenen Druckbedingungen bestätigen diesen Trend. Allerdings führt der Zusatz von Bor auch zu niedrigeren Zähigkeitswerten. Sie bleiben jedoch im akzeptablen Bereich und erfüllen die Anfangskriterien (Tabelle 5).

Tabelle 5 - Mechanische Eigenschaften der Probe nach Wärmebehandlung bei 760 °C / 4 h - 0.5 Ni + B Electrode -

Rm Rp (N/mm ²)	A%	Σ%	HV10	KCV (J/cm ²)	
				+ 20 °C	0 °C
785 641	17.4	59	245	63; 70; 79	45; 43; 51

Vor diesem Hintergrund entschieden wir uns für die Industrialisierung der 0,5% Ni + B Formel.

UP-Schweißen

Nach der Entwicklung der Stabelektroden wurde eine Draht / Pulver-Kombination entwickelt.

Zunächst wurde das Pulver ausgewählt, auf dessen Grundlage die Formel für den Metallpulver-Fülldraht aufbauen würde, um die gewünschten Ergebnisse im Schweißgut zu erreichen. Aus metallurgischer Sicht ist die Verwendung eines stark basischen Pulvers wünschenswert, um den Sauerstoffgehalt im Schweißgut so niedrig wie möglich zu halten und die Einschlüsse zu minimieren, um so die Zähigkeit zu erhöhen. Das Pulver muss aber trotzdem gut zu verarbeiten sein, d.h. für gute Lichtbogenstabilität und Benetzung der Schweißnähte sorgen und vor allem über eine

removal. In the case of weld metal with high chromium content, this final criterion is not satisfied by the most basic fluxes and the results of the various tests that were carried out led to the choice of the OP F500 SAW flux for the rest of the study. This flux was originally developed for the welding of Duplex steels.

Considering the results in relation to the SMAW electrodes, three flux – cored wire combinations were tested:

- 0.5 % Ni; 25 ppm B
- 1 % Co; 0 ppm B
- 1 % Co; 25 ppm B

Different all-weld metal test plates were produced using welding energies of between 12,600 and 16,000 J/cm, with preheating to 150 °C and an interpass temperature of 250 °C between passes. After depositing the weld metal, a heat treatment was carried out at 760 °C for 4 hours in order to relieve the internal stresses. As before, a comparison was made using isobaric creep tests under an identical stress of 85 MPa.

The tests lasted between 50 and 2500 hours. All the results are shown in Figure 3.

As shown by these results, the weld metals deposited by SAW behave differently to those obtained using SMAW electrodes.

The 0.5% Ni / 25 ppm B and 1% Co / 0 ppm B formulae show identical behaviours and the times-to-rupture are close to the minimum values for the base metal. The 1% Co + 25 ppm B formula gives highly acceptable results which are very close to the mean for the base metal. This trend is confirmed by the results of creep tests performed under different stresses, which bear witness to the superiority of the Co + B formula (fig. 4)

Creep resistance is, of course, the main criterion for this type of grade; however, it is impossible to ignore the toughness characteristics of the weld metal deposit.

In Figure 5, we have plotted all the results obtained under the same welding conditions using different cored wires with 1% cobalt, and differing mainly in their Cr, W and B contents. The graph clearly shows that the addition of boron leads to significantly reduced toughness values.

Another factor that influences toughness is the interpass temperature: a temperature of 150 °C between passes always results in higher toughness values than a

ausgezeichnete Schlacklöslichkeit verfügen. Bei Schweißgut mit einem hohen Chrom-Anteil wurde dieses letzte Kriterium von den meisten Pulvern nicht erfüllt. Die Ergebnisse der verschiedenen Tests führten zur Auswahl von Lexal F500 als Pulver für die weiteren Untersuchungen. Dieses Pulver war ursprünglich für das Schweißen von Duplex-Stählen entwickelt worden.

Angesichts der Ergebnisse bei den Stabelektroden wurden drei Draht / Pulver-Kombinationen getestet:

- 0.5 % Ni; 25 ppm B
- 1 % Co; 0 ppm B
- 1 % Co; 25 ppm B

Es wurden mehrere Schweißgutproben hergestellt mit Streckenergien zwischen 12.600 und 16.000 J/cm, bei einer Vorwärmtemperatur von 150 °C und einer Zwischenlagertemperatur von 250 °C. Nach dem Schweißen erfolgte eine Wärmebehandlung von 760 °C / 4h, um die Spannungen abzubauen. Wie zuvor wurden zum Vergleich isobare Zeitstandversuche bei identischer Spannung von 85Mpa durchgeführt. Die Untersuchungen dauerten zwischen 50 und 2500 h. Die Ergebnisse sind in Bild 3 zusammengefasst.

Diese Ergebnisse zeigen, dass Schweißgut, das im UP-Verfahren hergestellt wird, sich anders verhält als Schweißgut, das mit Elektroden produziert wurde.

Die 0,5% Ni / 25 ppm B und 1% Co / 0 ppm B Formeln zeigen ein identisches Verhalten und die Zeiten bis zum Bruch liegen nahe an den Minimalwerten des Grundwerkstoffes. Die 1% Co + 25 ppm B Formel bringt sehr gute Ergebnisse in der Nähe der Durchschnittswerte des Grundwerkstoffes. Dieser Trend wird von den Langzeitwerten bestätigt, die unter unterschiedlichen Spannungen durchgeführt wurden und die Überlegenheit der Formel Co + B beweisen (Bild 4)

Die Zeitstandfestigkeit ist selbstverständlich das Hauptkriterium bei diesem Stahl. Allerdings dürfen die Zähigkeitseigenschaften des Schweißgutes auf keinen Fall vernachlässigt werden.

In Bild 5 haben wir alle Ergebnisse zusammengefasst, die unter denselben Schweißbedingungen mit verschiedenen Fülldrähten mit 1% Kobalt erzielt wurden, wobei sie sich hauptsächlich in ihrem Cr, W und B – Gehalt unterschieden. In der Graphik ist deutlich zu erkennen, wie die Zugabe von Bor die Zähigkeitswerte deutlich verringert.

Eine weitere Einflussgröße auf die Zähigkeit ist die Zwischenlagertemperatur: Eine Zwischenlagertemperatur von 150 °C führt stets zu höheren Zähigkeitswerten als eine

Fig.3: Creep tests under a stress of 85 MPa

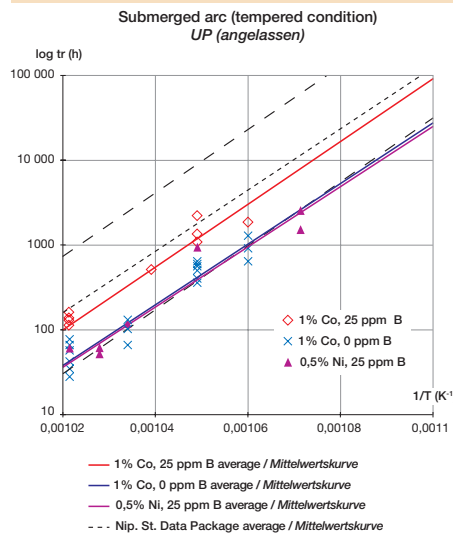


Bild 3: Zeitstandversuche bei 85Mpa Spannung

Fig.4: Creep tests for various wire/flux combinations

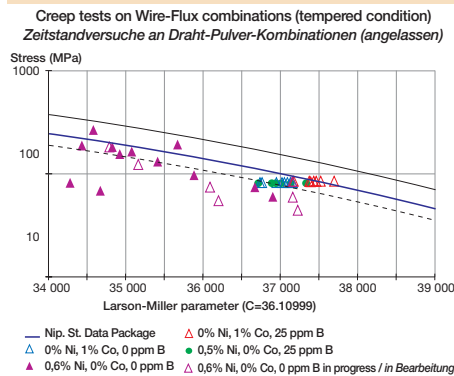


Bild 4: Zeitstandversuche für verschiedene Draht / Pulver-Kombinationen

Fig.5: Influence of boron content on the toughness of all-weld metal (tempered condition)

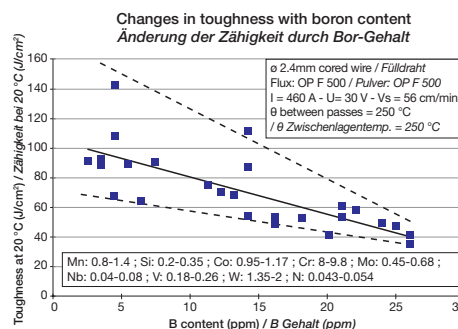


Bild 5: Einfluss des Bor-Gehaltes auf die Zähigkeit des Schweißgutes (angelassen)

temperature of 250 °C, as shown in Table 6, which compares the results obtained using boron-free wire with those obtained using wire that adds 22 ppm of boron to the weld metal.

This result is probably related to the fact that the temperature at the end of the martensitic transformation (200 °C) is below the highest temperature between passes, so that in this case, the austenite transformation remains incomplete throughout the entire time required for the execution of the joint. This may modify its composition, stability, and consequently, its decomposition products during the final cooling and post-weld heat treatment. Unfortunately, it is not industrially viable to maintain a temperature of 150 °C between passes, as, from an economic perspective, this would be highly detrimental to production during the joining of pipes.

Table 6 - Influence of interpass temperature on toughness values

Weld metal deposit	KCV +20 °C (J/cm ²) Interpass Temperature	
	150 °C	250 °C
1%Co; 1.6%W; 0 ppm B	Ave.: 142; min: 124	Ave.: 88; min: 60
1%Co; 1.7%W; 22 ppm B	Ave.: 58; min: 38	Ave.: 40; min: 33

There remains one final factor that has a significant effect on toughness characteristics: welding current.

Whatever type of wire was used, the toughness values always increased as a function of the welding current that was used during the production of these all-weld metal test plates. The results, shown in Table 7, illustrate this phenomenon.

An increased intensity reduces the chemical exchanges in the droplets during their transfer within the arc. With the use of the flux, this leads to an increased manganese content and a decreased silicon and oxygen content in the weld metal. Our tests, carried out by formulating the wires in order to obtain the same manganese and silicon contents at 300A, showed no significant reductions in toughness values; therefore, it is likely that the low values obtained at 300A are mainly due to the increased oxygen content of the weld metal, which, on average, rises from 360 to just over 530 ppm (Fig.6).

Table 7 - Influence of welding current on toughness values

Weld metal deposit	KCV +20 °C (J/cm ²)		
	300A, 27V 40cm/min	380A, 28V 45cm/min	460A, 30V 56cm/min
1%Co, 1.6%W, 0 ppm B	Ave: 53; min: 48	Ave: 71; min: 70	Ave: 89; min: 63
1%Co, 1.5%W, 22 ppm B		Ave: 38; min: 27	Ave: 70; min: 65

With regard to the normalised condition at 1060 °C + tempered at 760 °C / 4hours, the results were always highly satisfactory, both in terms of the tensile characteristics and the toughness values, which varied between 100 and 140 J/cm² according to the chemical analyses and the welding conditions that were tested.

Considering the creep results which, for the cobalt formulae, vary between the minimum for steel containing no boron to just above the average for 25 ppm of boron, we decided to industrialise a wire containing 15 ppm of boron for the Avedore programme in order to avoid having a detrimental effect on the toughness.

Temperatur von 250 °C. Dies zeigt auch Tabelle 6, in der die Ergebnisse für Draht ohne Bor-Zusatz und Draht mit Zusatz von 22 ppm Bor (Schweißgut) zusammengefasst sind.

Dieses Ergebnis ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Temperatur gegen Ende der Martensitumwandlung (200 °C) unter der höchsten Zwischenlagentemperatur liegt, so dass in diesem Fall die Austenitumwandlung unvollständig bleibt. Dadurch können unerwünschte Gefüge nach der endgültigen Abkühlung und Wärmebehandlung entstehen. Leider ist es in der Praxis nicht umsetzbar, eine Zwischenlagentemperatur von 150 °C zu halten, da sich dies aus wirtschaftlicher Sicht äußerst negativ auf die Herstellung der Rohre auswirken würde.

Tabelle 6 - Einfluss der Zwischenlagentemperatur auf die Zähigkeit

Schweißgut	KCV +20 °C (J/cm ²) Zw.-Lagentemp.	
	150 °C	250 °C
1%Co; 1.6%W; 0 ppm B	Durchschnitt: 142; min: 124	Durchschnitt: 88; min: 60
1%Co; 1.7%W; 22 ppm B	Durchschnitt: 58; min: 38	Durchschnitt: 40; min: 33

Abschließend bleibt ein weiterer Faktor, die Schweißstromstärke, mit bedeutendem Einfluss auf die Zähigkeitseigenschaften.

Unabhängig vom eingesetzten Drahttyp verbesserten sich die Zähigkeitwerte mit Zunahme der Schweißstromstärke, die bei der Probenherstellung zur Anwendung kam. Die Ergebnisse in Tabelle 7 verdeutlichen dieses Phänomen.

Fig.6: Influence of oxygen content on the toughness of weld deposit metal (tempered condition).

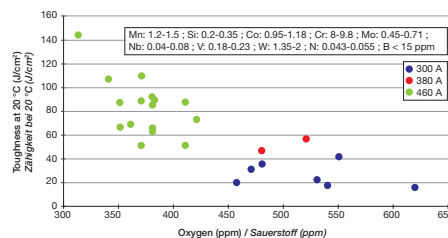


Bild 6: Einfluss des Sauerstoffgehalts auf die Zähigkeit des Schweißguts (angelasen).

Eine höhere Stromstärke verringert die chemischen Reaktionen während des Tropfenübergangs im Lichtbogen. Bei dem verwendeten Pulver führt dies zu einem höheren Mangan-Gehalt und einem geringeren Silizium- und Sauerstoff-Gehalt im Schweißgut. Versuche, bei denen wir die Draht-Formeln so gewählt haben, dass sich bei 460A derselbe Mangan- und Siliziumgehalt wie bei 300A ergibt, brachten keine wesentliche Verringerung der Zähigkeitwerte. Daher ist es wahrscheinlich, dass die niedrigen Werte, die bei 300A erzielt wurden, hauptsächlich auf den erhöhten Sauerstoffgehalt im Schweißgut zurückzuführen sind, der durchschnittlich von 360 auf knapp über 530 ppm steigt (Bild 6).

Tabelle 7 - Einfluss der Schweißstromstärke auf die Zähigkeit

Schweißgut	KCV +20 °C (J/cm ²)		
	300A, 27V 40cm/min	380A, 28V 45cm/min	460A, 30V 56cm/min
1%Co, 1.6%W, 0 ppm B	Durchschnitt: 53; min: 48	Durchschnitt: 71; min: 70	Durchschnitt: 89; min: 63
1%Co, 1.5%W, 22 ppm B		Durchschnitt: 38; min: 27	Durchschnitt: 70; min: 65

Auch nach einem Normalglühen bei 1060 °C + Anlassen bei 760 °C / 4h wurden gute Ergebnisse erzielt, und zwar sowohl bei den Brucheigenschaften als auch bei der Zähigkeit, die in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung und den getesteten Schweißbedingungen zwischen 100 und 140 J/cm² lag.

Aufgrund der Zeitstandergebnisse, die bei den Formeln mit Kobalt zwischen dem Mindestwert des Grundwerkstoffes - bei Schweißgut ohne Bor - und leicht unter der Mittelwertkurve des Grundwerkstoffes - bei 25ppm Bor im Schweißgut - lagen, entschieden wir uns für die Industrialisierung eines Drahtes mit 15ppm Bor für das Avedore Projekt, um die Zähigkeit nicht zu stark zu beeinträchtigen.

GTAW + SMAW ELECTRODE PROCESS APPROVALS

Welding process qualifications were carried out for GTAW + SMAW electrodes in relation to three welding positions: 1GT, 5G1T and 2G. The conditions for the performance of these qualifications and the results of the non-destructive and mechanical testing are presented in Table 8.

After the heat treatment to relieve internal stresses, a series of isobaric creep tests was performed under the same stress of 85 MPa and the test pieces were sampled in either the longitudinal direction from the weld joint, or in the transverse direction, but still in the part that was welded with the SMAW electrode. The first series (longitudinal direction) was used to compare the results obtained in the all-weld metal and from the joint. All the results are shown in Figure 7.

Firstly, it appears that the results obtained in the longitudinal direction from the joint were inferior to those obtained from the all-weld metal, although they were at the lower limit for the base metal. This might be explained by differences in welding/heating conditions between the all-weld metal and joint and also by a lower boron content in the welded joints in relation to that observed in the all-weld metal (40 ppm of boron in the all-weld-metal, compared with 20 ppm of boron in the joints). Another observation relates to the location of the rupture for the test pieces taken transverse to the joint: in position 1GT, all the fractures were situated in the inter-critical area, whereas in position 5G1T, the fractures were situated in the weld. In general, it can be said that, regardless of the welding position, the creep resistance of the joints is at the minimum level of the base metal.

VERFAHRENSPRÜFUNG FÜR DAS WIG- UND STABELEKTRODEN-SCHWEISSEN

Verfahrensprüfungen für das WIG-Verfahren und das Lichtbogenhandschweißen mit Stabelektroden wurden für die drei Schweißpositionen PA, PF und PC durchgeführt. Die Prüfbedingungen sowie die Ergebnisse der zerstörungsfreien und mechanischen Prüfungen sind in Tabelle 8 dargestellt.

Fig.7: Creep tests on welded joints

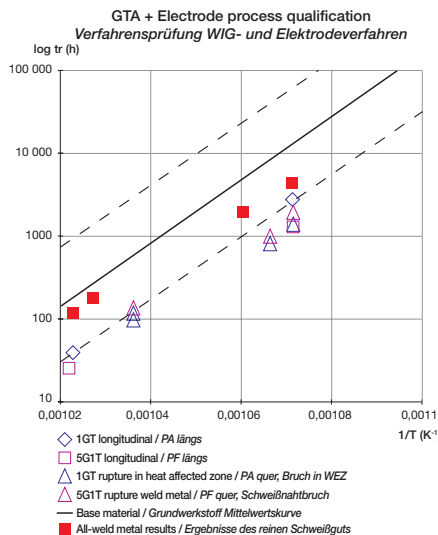


Bild 7: Zeitstandversuche an der Schweißnaht

Nach dem Spannungsarmglühen wurden eine Reihe isobarer Zeitstandversuche unter gleicher Spannung von 85Mpa durchgeführt. Die Proben wurden aus dem mit der Stabelektrode hergestellten Nahtbereich längs und quer entnommen. Die erste Probenreihe (längs) wurde verwendet, um die Ergebnisse des reinen Schweißguts mit denen der Verbindung zu vergleichen. Alle Ergebnisse sind in Bild 7 dargestellt.

Zunächst fällt auf, dass die Ergebnisse der Längsproben der Verbindungsnaht schlechter sind als die des reinen Schweißguts, obwohl sie an der unteren Grenze für den Grundwerkstoff lagen. Dies kann sowohl durch die Unterschiede bei den Schweiß-/Vorwärmbedingungen zwischen reinem Schweißgut und Verbindung erklärt werden als auch durch den niedrigeren Bor-Gehalt der Verbindungsnaht im Vergleich zu dem des reinen Schweißguts (40ppm Bor im reinen Schweißgut gegenüber 20ppm Bor in den Schweißnähten). Eine weitere Beobachtung betrifft die Bruchstelle bei den Querproben: In PA Position befinden sich alle Bruchstellen in der interkritischen Zone, während sich die Bruchstellen in PF Position im Schweißgut befanden. Allgemein kann gesagt werden, dass, unabhängig von der Schweißposition, die Kriechfestigkeit der Schweißnähte auf dem Mindestniveau der Werte für den Grundwerkstoff liegt.

Table 8: Welding process qualifications for GTAW + SMAW electrodes

	5G1T / PF	1GT / PA	2G / PC
Pipe dimensions	Int. Ø 236 mm; e = 36 mm	Int. Ø 236 mm; e = 36 mm	Int. Ø 384 mm; e = 37 mm
Preheating	150 °C	150 °C	150 °C
Interpass temperature	250 °C	250 °C	250 °C
Welding	2 passes GTAW OE CARBOROD WF 92: 140 A 5 passes elect. OE CROMOCORD 92 Ø 3,2: 115 A 17 passes elect. OE CROMOCORD 92 Ø 4: 160A	1 pass GTAW OE CARBOROD WF 92: 130 A 1 pass GTAW OE CARBOROD WF 92: 150 A 8 passes elect. OE CROMOCORD 92 Ø 3.2: 130 A 16 passes elect. OE CROMOCORD 92 Ø 4: 170 A 6 passes elect. OE CROMOCORD 92 Ø 3.2: 130 A	1 pass GTAW OE CARBOROD WF 92: 100 A 2 passes elect. OE CROMOCORD 92 Ø 2.5: 90 A 2 passes elect. OE CROMOCORD 92 Ø 3.2: 125 A 14 passes elect. OE CROMOCORD 92 Ø 4: 160 A 4 passes elect. OE CROMOCORD 92 Ø 5: 230 A 21 passes elect. OE CROMOCORD 92 Ø 4: 160 A
Tempering	760 °C / 4hours	760 °C / 4hours	760 °C / 4hours
Magnetoscopy, Radio and US before & after tempering	OK	OK	OK
4 side bends - 4th at 180°	OK	OK	OK
4 transverse tensile tests	Base metal rupture: 640 to 652 MPa	Base metal rupture: 633 to 662 MPa	Base metal rupture: 686 to 696 MPa
KCV +20 (J/cm²)	57, 70, 56 - ave.: 61	64, 57, 64 - ave.: 62	70, 86, 57 - ave.: 71
HV10 MF*	243 to 259	250 to 270	232 to 253
HV10 HAZ*	Max. 274	Max. 271	Max. 250
HV10 MB*	200 to 210	210 to 215	213 to 225

* MF = Weld metal deposit; HAZ = Heat Affected Zone; MB = Base metal

Tabelle 8: Verfahrensprüfung für das WIG- und Stabelektrodenschweißen

	5G1T / PF	1GT / PA	2G / PC
Rohr- abmessungen	Innen ø 236 mm; e = 36 mm	Innen ø 236 mm; e = 36 mm	Innen ø 384 mm; e = 37 mm
Vorwärmen	150 °C	150 °C	150 °C
Zw-Lagtemp.	250 °C	250 °C	250 °C
Schweißen	2 Lagen WIG OE CARBOROD WF 92: 140 A 5 Lagen E. OE CROMOCORD 92 Ø 3,2: 115 A 17 Lagen E. OE CROMOCORD 92 Ø 4: 160 A	1 Lage WIG OE CARBOROD WF 92: 130 A 1 Lage WIG OE CARBOROD WF 92: 150 A 8 Lagen E. OE CROMOCORD 92 Ø 3.2: 130 A 16 Lagen E. OE CROMOCORD 92 Ø 4: 170 A 6 Lagen E. OE CROMOCORD 92 Ø 3.2: 130 A	1 Lage WIG OE CARBOROD WF 92: 100 A 2 Lagen E. OE CROMOCORD 92 Ø 2.5: 90 A 2 Lagen E. OE CROMOCORD 92 Ø 3.2: 125 A 14 Lagen E. OE CROMOCORD 92 Ø 4: 160 A 4 Lagen E. OE CROMOCORD 92 Ø 5: 230 A 21 Lagen E. OE CROMOCORD 92 Ø 4: 160 A
Vergüten	760 °C / 4h	760 °C / 4h	760 °C / 4h
Magnetpulver-/ Durchstrahlungs- US-Prüfung vor & nach Anlassen	OK	OK	OK
4 Seitenbiege-proben 4, bei 180°	OK	OK	OK
4 Querkzug-versuche	GW Bruch: 640 bis 652 Mpa	GW Bruch: 633 bis 662 Mpa	GW Bruch: 686 bis 696 Mpa
KCV +20 (J/cm²)	57, 70, 56 - durchschnittl. 61	64, 57, 64 - durchschnittl. 62	70, 86, 57 - durchschnittl. 71
HV10 SG*	243 bis 259	250 bis 270	232 bis 253
HV10 WEZ*	Max. 274	Max. 271	Max. 250
HV10 GW*	200 bis 210	210 bis 215	213 bis 225

* SG = Schweißgut; WEZ = Wärmeeinflusszone; GW = Grundwerkstoff

GTAW + SMAW ELECTRODE + SUBMERGED ARC PROCESS QUALIFICATION

This qualification was performed in the 1GT position on a pipe with a diameter of 260 mm and thickness of 36 mm. As for the previous qualifications, the preheating temperature was 150 °C and the interpass temperature was a maximum of 250 °C. The welding conditions are shown in Table 9 and the results of the non-destructive testing and the mechanical characterisations after tempering at 760 °C for 4 hours are given in Table 10.

Table 9 - Welding conditions for GTA + Electrode + Submerged Arc process qualification

Pass no.	Process	Products	Parameters
1	GTAW	OE CARBOROD WF 92:- ø 2mm	120 A
2	SMAW	OE CROMOCORD 92- ø 2.5mm	80 A
3	SMAW	OE CROMOCORD 92- ø 3.2mm	130 A
4 & 5	SMAW	OE CROMOCORD 92- ø 4mm	160 A
6 to 26	Submerged Arc	OP F500 / OE CROMO SF 92- ø 2.4mm	460 A; 30 V; 45 cm/min

Table 10 - Non-destructive testing and mechanical characteristics of the qualification joint for the GTAW + SMAW Electrode + Submerged Arc process (tempered condition 760 °C / 4h)

Magnetoscopy + Radio + US	4 side bends (At 180 °)	4 transverse tensile tests	KCV +20 °C Weld metal deposit	KCV +20 °C HAZ	HV 10 Weld metal deposit	HV 10 HAZ
OK	OK	Base metal rupture 661 to 674 MPa	60, 64, 51 ave. 58 J/cm²	87, 45, 118 ave. 84 J/cm²	251 to 263	Max. 274

The same joint was qualified after normalising and tempering. The results shown in Table 11 illustrate that this heat treatment considerably improves the toughness values, both in the weld metal deposit and in the heat affected zone, compared with the tempering treatment alone.

Table 11 - Non-destructive testing and mechanical characteristics of the qualification joint in the normalised - tempered condition (Normalising: 1060 °C, tempering: 760 °C / 4h)

Magnetoscopy + Radio + US	4 side bends (At 180 °)	4 transverse tensile tests	KCV +20 °C Weld metal deposit	KCV +20 °C HAZ	HV 10 Weld metal deposit	HV 10 HAZ
OK	OK	Rupture: 2 base metal & 2 weld metal deposit 671 to 741 MPa	141, 135, 138 ave. 138 J/cm²	185, 168, 182 ave. 178 J/cm²	212 to 239	Max. 238

VERFAHRENSPRÜFUNG FÜR WIG- / ELEKTRODEN- / UP-VERFAHREN

Die Verfahrensprüfung wurde in PA-Position an einem Rohr mit Durchmesser 260mm und einer Wandstärke von 36mm durchgeführt. Wie bei den vorhergehenden Zertifizierungen lag die Vorwärmtemperatur bei 150 °C und die Zwischenlagentemperatur bei maximal 250 °C. Die Schweißbedingungen sind in Tabelle 9 zusammengefasst und die Ergebnisse der zerstörungsfreien Prüfungen und mechanischen Tests nach dem Anlassen bei 760 °C / 4h sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 9 - Schweißbedingungen Verfahrensprüfung WIG – Elektrode - UP

Lage Nr	Verfahren	Zusatzwerkstoff	Parameter
1	WIG	OE CARBOROD WF 92:- ø 2mm	120 A
2	SMAW	OE CROMOCORD 92- ø 2.5mm	80 A
3	SMAW	OE CROMOCORD 92- ø 3.2mm	130 A
4 & 5	SMAW	OE CROMOCORD 92- ø 4mm	160 A
6 to 26	Submerged Arc	OP F500 / OE CROMO SF 92- ø 2.4mm	460 A; 30 V; 45 cm/min

Tabelle 10 - Zerstörungsfreie Prüfung und mechanische Tests der Verfahrensprüfung WIG – Elektrode – UP (angelassen 760 °C / 4h)

Magnetpulver-/ Durchstrahlungs-/ US-Prüfung	4 Seitenbiegeprobe (180 °)	4 Zugversuche quer	KCV +20 °C Schweißgut	KCV +20 °C WEZ	HV 10 Schweißgut	HV 10 WEZ
OK	OK	GW Bruch 661 bis 674 MPa	60, 64, 51 durchschnittl. 58 J/cm²	87, 45, 118 durchschnittl. 84 J/cm²	251 bis 263	Max. 274

Dieselbe Naht wurde auch nach Normalglühen und Anlassen geprüft. Die Ergebnisse in Tabelle 11 zeigen, dass diese Wärmebehandlung die Zähigkeitswerte im Schweißgut und in der WEZ wesentlich verbessert, im Vergleich zum nur angelassenen Zustand.

Tabelle 11 - Zerstörungsfreie Prüfung und mechanische Tests der Verfahrensprüfung - Naht normalgeglüht bei 1060 °C und angelassen (760 °C / 4h)

Magnetpulver-/ Durchstrahlungs-/ US-Prüfung	4 Seitenbiegeprobe (180 °)	4 Zugversuche quer	KCV +20 °C Schweißgut	KCV +20 °C WEZ	HV 10 Schweißgut	HV 10 WEZ
OK	OK	Bruchstellen: 2 GW und 2 SG 671 bis 741 MPa	141, 135, 138 durchschnittl. 138 J/cm²	185, 168, 182 durchschnittl. 178 J/cm²	212 bis 239	Max. 238

As before, isobaric creep tests were performed and the test pieces were taken from the submerged arc deposit. The results are shown in Figure 8 for the two qualified conditions.

These joint results demonstrate that the creep characteristics are still situated within the base metal scatterband, both in the tempered condition and after normalising and tempering.

CONCLUSIONS

Out of the different chemical compositions of electrodes that were tested, the formula containing 0.5% nickel and 40 ppm of boron represents an excellent compromise between highly acceptable creep resistance characteristics and a level of toughness that is far higher than the minimum required by the specifications. However, the replacement of 0.5% nickel with 1% cobalt, which has a beneficial effect on the temperature of the AC1 point, gives a larger safety margin with regard to the heat treatment conditions for tempering.

This prompted us to develop a wire / flux combination containing 1% cobalt and a reduced boron content, in view of the difficulty in obtaining acceptable toughness values after tempering with a boron content as high as that of the electrodes. With the submerged arc welding process, strict compliance with the operating conditions is required in order to satisfy the requirements for toughness and creep resistance after tempering.

On the other hand, the use of this wire/flux combination makes all these precautions superfluous when a normalisation + tempering treatment is carried out after welding, as is the case for the manufacture of pipework in the workshop.

Furthermore, it is important to emphasise the excellent operating characteristics of these welding consumables.

We continued to optimise the chemistry of weld metal alloyed with cobalt in submerged arc welding between 2005 and 2007. These developments will be covered in a second OERLIKON Competence publication on the P92 topic. At the same time, the range was also homogenised, with a view to offering cobalt alloy weld metals for all types of welding consumables. The P92 topic will be concluded with a third OERLIKON Competence publication describing the entire range of welding consumables, consisting of wire for GTAW and submerged arc welding, and SMAW electrodes.

Fig.8: Creep tests on welded joints

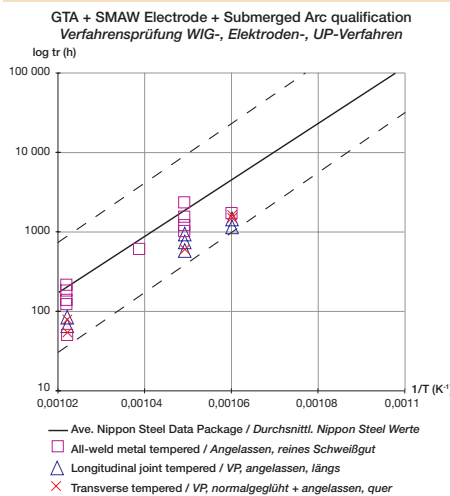


Bild 8: Zeitstandversuche an der Verbindung

Wie zuvor wurden auch hier isobare Zeitstandversuche durchgeführt, wobei die Proben aus dem UP-geschweißten Teil entnommen wurden. Die Ergebnisse für die beiden geprüften Wärmebehandlungszustände zeigt Bild 8.

Die Ergebnisse der Schweißnaht zeigen, dass die Zeitstandeigenschaften noch immer innerhalb des Streubandes des Grundwerkstoffes liegen und zwar sowohl im angelassenen als auch im normalgeglühten und angelassenen Zustand.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus den verschiedenen chemischen Zusammensetzungen der geprüften Stabelektroden scheint die Formel mit

0,5% Nickel und 40ppm Bor einen ausgezeichneten Kompromiss zwischen Zeitstandfestigkeit und einem Zähigkeitsniveau zu sein, das deutlich über den Mindestanforderungen der Regelwerke liegt. Allerdings wird durch den Austausch der 0,5% Nickel durch 1% Kobalt, der sich günstig auf die Temperatur des AC1 Punktes auswirkt, eine größere Sicherheitsmarge hinsichtlich der Wärmebehandlungsbedingungen bei der Anlassglühung erreicht.

Bei der UP-Kombination ist es schwierig, eine akzeptable Zähigkeit nach dem Anlassen zu erzielen, wenn der Bor-Gehalt genauso hoch ist wie bei den Elektroden. Dies führte zur Entwicklung einer Draht / Pulver-Kombination mit 1% Kobalt und einem reduzierten Bor-Gehalt. Beim UP-Verfahren ist eine sehr sorgfältige Einhaltung der Schweißbedingungen erforderlich, um die Zähigkeits- und Zeitstandfestigkeitsanforderungen nach dem Anlassen zu erfüllen.

Andererseits macht der Einsatz dieser Draht / Pulver-Kombination all diese Vorsichtsmaßnahmen überflüssig, wenn nach dem Schweißen normalgeglüht und angelassen wird, so wie es bei der Werkstattfertigung der Rohre der Fall ist.

Hinzuweisen ist noch auf die ausgezeichneten Verarbeitungseigenschaften dieser Zusatzwerkstoffe.

Wir haben die chemische Zusammensetzung des mit Kobalt legierten Schweißgutes für das UP-Schweißen zwischen 2005 und 2007 weiter verbessert. Diese Entwicklungen werden in einer zweiten „Competence“-Veröffentlichung zum Thema P92 behandelt. Gleichzeitig wurde die Produktreihe erweitert, um Kobalt-legiertes Schweißgut für alle Arten von Schweißzusätzen anzubieten zu können. Abgeschlossen wird das P92 Thema durch einen dritten Beitrag, der das gesamte Zusatzwerkstoffangebot zum WIG-, Elektroden- und UP-Schweißen beschreibt.

A. Vanderschaeghe - AVD Consulting - **J. Gabrel** - Alstom - **C. Bonnet** - Air Liquide / CTAS

BIBLIOGRAPHY / LITERATURHINWEISE:

[1] Nippon Steel Corporation: "Data Package for NF616 Ferritic Steel (9Cr-0.5Mo-1.8W-Nb-V)"; Second edition, March 1994.

Welding with Flux-Cored Wires in Shipbuilding.

In the interests of reducing costs, the shipbuilding industry is attempting to cut production times through the use of modern, highly efficient welding technology. Flux-cored wires can make a crucial contribution, as they can significantly increase welding speed as a result of their greater deposition rate and/or higher current carrying capacity, for example when welding in position. A distinction is made between slag-forming (rutile and basic) and slag-free (metal-cored) cored wires. Seamless, coppered flux-cored wires are particularly distinguished by the complete resistance of the core to moisture pick up and very good wire feeding characteristics and are therefore ideally designed for the demanding conditions encountered in shipyards. In this article, the various flux-cored wires and their applications in shipbuilding are presented with reference to typical examples of partially and fully mechanised welding techniques.

INTRODUCTION

Global competition among shipyards has created the need for rationalisation which necessarily affects all aspects of construction through to the final completion of a ship. In the last 20 years, an important aspect of this has been the lasting effect it has had on developments in welding technology. In the past, manual metal arc welding using high efficiency electrodes was still a primary method of joining, today it is metal inert-gas shielded welding which is most used. In one of Europe's largest shipyards, 1100 of the 1400 welders work with flux-cored wires. There are 1100 tonnes of rutile and 300 tonnes of basic flux-cored wires consumed each year. With the available capacity, rationalisation in all areas now allows a completed ship to be launched every 3-4 weeks.

In the past, manual metal arc welding with high efficiency electrodes was "mechanised" by means of spring tension or gravity welding. Today fully mechanised gas metal arc welding or electro-gas welding is used, wherever the peripheral conditions allow for a greater degree of mechanisation. Submerged-arc welding continues to occupy a position of outstanding importance, not only for fillet welding but for joining thicker, high-strength, fine grain construction steels using the extremely cost-effective single-pass or two-run welding techniques with specially alloyed flux-cored wires, due to the high heat inputs used.

Schweißen mit Fülldrahtelektroden im Schiffbau.

Unter dem Aspekt der Kostenreduzierung versucht die Schiffbauindustrie die Fertigungszeiten durch den Einsatz von modernen, leistungsfähigen Schweißtechnologien zu verringern. Hierzu leisten Fülldrahtelektroden einen entscheidenden Beitrag, indem die Schweißgeschwindigkeit infolge höherer Abschmelzleistung und/oder höherer Strombelastbarkeit z.B. in Zwangspositionen entscheidend gesteigert werden kann. Es werden schlackeführende (rutile und basische) und schlackelose (metallpulvergefüllte) Fülldrahtelektroden unterschieden. Nahtlose, verkupferte Fülldrahtelektroden zeichnen sich insbesondere durch absolute Feuchteunempfindlichkeit der Füllung und sehr gute Drahtfördereigenschaften aus und sind damit für den rauen Werfteinsatz prädestiniert. In dem Artikel werden die verschiedenen Fülldrahtelektroden und ihre Anwendung im Schiffbau anhand von typischen Beispielen für das teil- und vollmechanisierte Schweißen vorgestellt.

EINLEITUNG

Der weltweite Verdrängungswettbewerb unter den Werften hat einen Rationalisierungsdruck ausgelöst, der zwangsläufig alle Aspekte von der Konstruktion bis zur Fertigung eines Schiffes betrifft. Dies hat in den letzten 20 Jahren nicht zuletzt die Entwicklungen in der Schweißtechnik nachhaltig geprägt. War in der Vergangenheit noch das manuelle Lichtbogenhandschweißen mit Hochleistungselektrode ein vorherrschendes Fügeverfahren im Sektionsbau, so ist es heute das Schutzgasschweißen mit Fülldrahtelektrode. In einer der größten europäischen Werften schweißen 1100 von 1400 Schweißern mit Fülldrahtelektroden. 1100 t rutile und 300 t basische Fülldrahtelektroden werden dort im Jahr verarbeitet. Rationalisierungen in allen Bereichen ermöglichen mit den vorhandenen Kapazitäten den Stapellauf eines fertiggestellten Schiffes alle 3-4 Wochen.

Wurde in der Vergangenheit das manuelle Lichtbogenhandschweißen mit Hochleistungselektroden durch das Federkraft- oder Schwerkraftschweißen "mechanisiert", so kommen heute das vollmechanisierte Metallschutzgas- oder Elektrogasschweißen zum Einsatz, wo immer die Randbedingungen die Erhöhung des Mechanisierungsgrades zulassen. Auch das Unterpulverschweißen hat nach wie vor eine herausragende Bedeutung im Sektionsbau, nicht nur zum Kehlnahtschweißen, sondern vor allem auch beim Fügen dickerer, höherfester Feinkornbaustähle in der äußerst wirtschaftlichen Einlagen- oder Lage/Gegenlagetechnik, welche aufgrund der hohen Wärmeeinbringung den Einsatz von speziell legierten Fülldrahtelektroden erfordert.

This means that the supplier of welding products and technology to a shipyard becomes a system supplier, required to offer both the applied technology and welding consumables which are optimised for the application. Complete solutions from a single source are necessary with the assumption that the complex requirements of the user will be efficiently satisfied. Optimal processing properties in respect of maximum economy combined with reliably achieving the specified weld metal mechanical properties, are required from the plant and consumables which are supplied. A description is given below of the areas of application, cost-effectiveness and special properties of modern flux-cored wires for welding typical shipbuilding steels (Grade A - E 40) for standard shipbuilding applications, which today predominantly means container ship building. Welding consumables are also available for the many and varied material applications in the construction of special ships using high-strength steels, high-alloyed, corrosion-resistant or non-magnetic materials, mainly in the form of flux-cored wires. This is a wide ranging topic and therefore beyond the scope of this article.

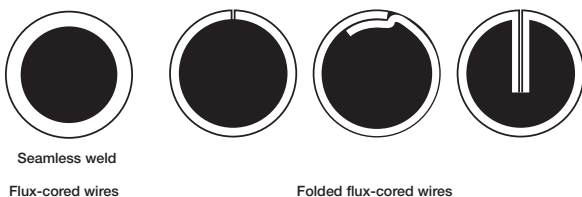
FLUX-CORED WIRES

Flux-cored wires offer a number of advantages over solid-wire electrodes, derived from the fusion characteristics during the welding process. Basically, there are comparable effects to manual metal arc welding, arising from the type of electrode coating. This means that in the course of solid-wire welding both welding properties and metallurgical properties are favourably influenced, depending on the type of flux filling. The special welding properties of cored wire electrodes over solid-wire electrodes are responsible for the increased cost-effectiveness of this welding process.

Depending on the type of core, the distinction is made between metal-core, basic and rutile flux-cored wires for the various areas of application (Table 1). Flux-cored wires are used to advantage for both gas metal arc welding and for submerged-arc welding.

Table 1 - Manufacturing type, filling flux types and use of flux-cored wires

OERLIKON designation	Welding process	Core characteristics	Section
FLUXOFIL	MAG	> rutile > basic > metal	seamless
CITOFLEX	MAG	> rutile > metal	folded
FLUXINOX	MAG	> rutile	folded
FLUXOREX	EG / ES	> basic	seamless
FLUXOCORD	Subm.-arc / FMI	> basic	seamless



Der Lieferant für Schweißtechnik auf einer Werft wird so zu einem Systemanbieter, der sowohl die Gerätetechnik als auch darauf optimal zugeschnittene Schweißzusatzwerkstoffe anbieten muss. Komplettlösungen aus einer Hand sind gefordert und setzen die intensive Auseinandersetzung mit den komplexen Bedürfnissen des Anwenders voraus. Optimale Verarbeitungseigenschaften im Hinblick auf höchste Wirtschaftlichkeit, bei sicherer Erfüllung der geforderten mechanischen Güterwerte des Schweißguts werden von den Schweißzusätzen gefordert und erfüllt. Im folgenden sollen die Einsatzbereiche, Wirtschaftlichkeit und die besonderen Eigenschaften moderner Fülldrahtelektroden zum Schweißen der typischen Schiffbaustähle (Grad A - E 40) im Standardschiffbau, und das ist heute überwiegend der Containerschiffbau, beschrieben werden. Selbstverständlich stehen auch Schweißzusätze für die vielfältigen Werkstoffaufgaben im Sonderschiffbau mit hochfesten Stählen, hochlegierten, korrosionsbeständigen oder nichtmagnetischen Werkstoffen überwiegend auch als Fülldrahtelektroden zur Verfügung, deren Beschreibung den Rahmen des vorliegenden Beitrags aber sprengen würden.

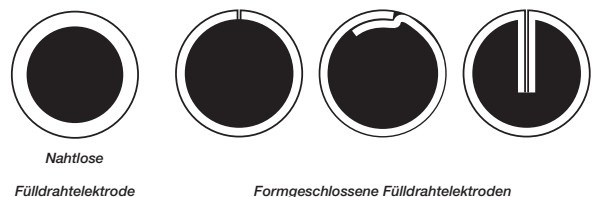
FÜLLDRAHTELEKTRODEN

Gegenüber Massivdrahtelektroden weisen Fülldrahtelektroden eine Reihe von Vorteilen auf, die aus dem Aufschmelzen der Füllung im Schweißprozeß resultieren. Grundsätzlich treten vergleichbare Effekte wie beim Lichtbogenhandschweißen auf, die hier durch den Typ der Elektrodenumhüllung bewirkt werden. So werden auch beim Fülldrahtschweißen sowohl die Schweißigenschaften als auch die metallurgischen Eigenschaften je nach Füllpulvertyp günstig beeinflusst. Die besonderen Schweißigenschaften von Fülldrahtelektroden gegenüber Massivdrahtelektroden sind nicht zuletzt für die hohe Wirtschaftlichkeit des Schweißverfahrens verantwortlich.

Je nach Typ der Füllung unterscheidet man Metallpulver-, basische und rutile Fülldrahtelektroden für die verschiedenen Einsatzbereiche (Bild 1). Fülldrahtelektroden werden sowohl zum Metallschutzgasschweißen als auch zum Unterpulverschweißen vorteilhaft eingesetzt.

Bild 1 - Herstellungsart, Füllpulvertypen und Anwendung von Fülldrahtelektroden

OERLIKON Bezeichnung	Schweißverfahren	Art der Füllung	Querschnitt
FLUXOFIL	MAG	> rutil > basisch > metallpulver	nahtlos
CITOFLEX	MAG	> rutil > metallpulver	formgeschlossen
FLUXINOX	MAG	> rutil	formgeschlossen
FLUXOREX	EG / ES	> basisch	nahtlos
FLUXOCORD	UP / FMI	> basisch	nahtlos



Reasons for using flux-cored wires:

- reliable sidewall fusion, not susceptible to lack of fusion
- good wetting, no undercutting, smooth weld bead surface
- high resistance to cracking
- low-spray metal transfer
- high process stability
- with slag-forming flux-cored wires, additional protection during metal transfer and for the weld pool
- flexibility in the possible use of alloying and micro-alloying elements

Manufacturing Flux-Cored Wires

With reference to the type of manufacture, the distinction is made between "folded" and "seamless" flux-cored wires (Fig. 1). The former are closed after having been filled with a dry mixture of mineral and/or metallic raw materials, using a butt, overlapping or flange closure and, generally, drawn or rolled to their final diameter without any additional heat treatment. By way of contrast, seamless flux-cored wires do not have a seam after the drawing process, as the filling flux is introduced into a tube sealed by an induction welding process (which explains the name "cored wire"). In order to ensure homogeneity of the core filling, the raw materials are first agglomerated into a stable grain of a specified grain-size distribution. After the controlled filling procedure, the tube is heat treated to ensure that the filled tube can be drawn, as well as reducing the level of residual moisture in the flux filling. After drawing, the flux-cored wire can be coppered in the same way as a solid-wire electrode.

Unlike "folded" flux-cored wires, "seamless" flux-cored wires have the following advantages, which are shown in summary form. These are important, particularly in the demanding environment of the shipyard and in surroundings with variable levels of atmospheric humidity.

- the filling is completely impervious to moisture during storage or in the production environment
- accordingly, there is no need for a drying treatment, even after storage in higher humidity conditions
- coppering ensures good electrical contact and good feeding properties for the wire through the conduits.
- homogeneity of mechanical properties of the sheath ensures smooth wire feeding, even with wire feeding systems with standard 2-roller drives and in "push-pull" systems for bridging longer wire-feeding distances
- no wire torsion during welding, thus reliably ensuring exact positioning of the wire with no twisting or spiralling, e.g. important for fully-mechanised welding

All of the flux-cored wires produced by the OERLIKON FLUXOFIL process today have diffusible hydrogen contents of < 5 ml or even < 3 ml/100g deposited weld metal, as there is an intermediate tempering treatment at high temperatures and they are manufactured from selected raw materials. This means that these cored wires are particularly suitable for welding high-strength steels, while minimising the risks of hydrogen induced cold cracking.

Flux-cored wire types

Flux-cored wires with fast freezing rutile slag (R-type)

Characteristic properties:

- good positional welding characteristics due to the supporting effect of the rapidly solidifying slag

Gründe für den Einsatz von Fülldrahtelektroden:

- sichere Flankenerfassung, unempfindlich gegen Bindefehler
- gute Benetzung, kerbfreie Übergänge, glatte Nahtoberfläche
- hohe Riss-Sicherheit
- spritzerarmer Werkstoffübergang
- hohe Prozess-Stabilität
- bei schlackeführenden Fülldrahtelektroden zusätzlicher Schutz der übergehenden Tropfen und des Schmelzbades
- flexible Einsatzmöglichkeit von Legierungs- und Mikrolegierungselementen

Herstellung von Fülldrahtelektroden

Nach der Herstellungsart unterscheidet man "formgeschlossene" und "nahtlose" Fülldrahtelektroden (Bild 1). Erstere werden nach dem Einfüllen einer Trockenmischung aus mineralogischen und/oder metallischen Rohstoffen durch einen Stumpf-, Überlapp- oder Bördelstoß geschlossen und i.A. ohne eine weitere Wärmebehandlung auf den Enddurchmesser gezogen oder gewalzt. Die nahtlosen Fülldrahtelektroden weisen demgegenüber keinen Spalt nach dem Ziehvorgang auf, da das Füllpulver in ein durch Induktivschweißen geschlossenes Rohr eingefüllt wird (daher der verbreitete Name "Röhrchendraht"). Um Entmischungen des Pulvers bei dem Einfüllvorgang mittels Rütteln zu vermeiden, werden die Rohstoffe zuvor mit Wasserglas zu einem stabilen Korn mit einer definierten Korngrößenverteilung agglomeriert. Nach dem kontrollierten Einfüllvorgang erfolgt eine Wärmebehandlung mit dem Ziel, die Ziehfähigkeit des gefüllten Rohrs sicherzustellen und Restfeuchtigkeit aus dem Füllpulver zu reduzieren. Nach dem Ziehen kann die Fülldrahtelektrode wie eine Massivdrahtelektrode verkupfert werden.

Im Gegensatz zu den "formgeschlossenen" Fülldrahtelektroden weisen "nahtlose" Fülldrahtelektroden somit zusammengefaßt folgende Vorteile auf, die besonders im rauen Werftbetrieb und in einer immer mehr oder weniger feuchten Umgebung zählen:

- absolute Unempfindlichkeit der Füllung gegenüber Feuchtigkeit bei der Lagerung bis zur Verarbeitung oder in der Produktionsumgebung
- daher kein Nachrocknen erforderlich, auch nicht nach Lagerung in feuchter Umgebung
- Möglichkeit der Verkupferung für einen guten elektrischen Kontakt und gute Gleiteigenschaften in der Drahtführung
- höchste Formstabilität für eine gute Drahtförderbarkeit, selbst in Drahtvorschubsystemen mit Standard-2-Rollenantrieb und in "Push Pull"- Systemen zur Überbrückung langer Drahtförderstrecken
- keine Drahttorsion beim Schweißen, so dass eine exakte, drallfreie Drahtpositionierung, z.B. beim vollmechanisierten Schweißen zuverlässig erreicht wird.

Alle nach dem FLUXOFIL-Verfahren hergestellten Fülldrahtelektroden weisen heute Wasserstoffgehalte < 5 ml oder sogar < 3 ml/100g abgeschmolzenem Schweißgut auf, da sie bei hohen Temperaturen zwischengeglüht und mit ausgewählten Rohstoffen hergestellt werden. Sie können daher ohne Bedenken auch zum Schweißen höherfester Stahlqualitäten ohne Gefahr wasserstoffinduzierter Kaltrisse eingesetzt werden.

Fülldrahtelektrodentypen

Fülldrahtelektroden mit rutiler schnell erstarrender Schlacke (P-Typ)

Charakteristische Eigenschaften:

- gute Positionsverschweißbarkeit bedingt durch die Stützwirkung der schnell erstarrenden Schlacke

- this removes the need for any pulsed current technique (simpler process set up and low investment requirement)
- fine-droplet metal transfer with good wetting over a wide range of welding parameters
- smooth, clean weld bead surface
- compact, generally self-detaching slag
- good weld metal toughness properties to -40 °C, due to micro alloying and in some cases alloying with nickel
- as a general guideline, the maximum wall thickness is limited to 45 mm

Main areas of application:

Welding of fillet and butt joints in all positions and welding of butt joints in the vertically-up or horizontal positions on ceramic backing strips. For all positions, including pipe to pipe applications, it is also possible to use flux-cored wires with a rapidly solidifying rutile slag in fully mechanised processes.

Flux-cored wires with a basic slag (B-type)

Characteristic properties:

- excellent mechanical/technological properties of the weld metal, even at very low temperatures, both in the as welded condition and following post weld heat treatment
- completely suitable for root welding due to the medium to large droplet transfer
- highly resistant to cracking

Main areas of application:

Welded joints exposed to high levels of stress with no limitation on wall thickness in both the down hand and horizontal positions. Limited application for welding in position due to slag fluidity.

Metal-cored wires (M – type)

Characteristic properties:

- higher level of current-carrying capacity in comparison with solid-wire electrodes, resulting in higher deposition rates
- material transfer mode is very fine droplets in the spray arc range (from approx. 160 A for 1.2 mm diameter wire)
- fine ripple finish, slag-free surface on the weld bead with easily removable silicate islands
- wide, stable spray arc range with excellent wetting properties ==> reliable fusion and penetration
- suitable for welding in root runs and in positional applications

Main areas of application:

Welding in the down hand and horizontal positions with high deposition rates at high welding speeds. Suitable for multi-pass welding without the need for intermediate cleaning, this type of cored wire is used in automated welding applications.

WELDING PROCEDURES

Partially-Mechanised Gas Metal Arc Welding with Flux-Cored Wires

In shipbuilding, due to the difficult access conditions and when welding short seams, many welding tasks cannot be fully mechanised. The development of flux-cored wires has been concentrated on increasing the speed of the welding

- daher keine Impulsstromtechnik erforderlich (einfache Prozess-Einstellung und geringer Investitionsbedarf)
- feintropfiger Werkstoffübergang mit guter Benetzung über einen großen Schweißparameterbereich
- glatte, saubere Nahtoberfläche
- kompakte, i.A. selbst abhebende Schlacke
- gute Schweißgutzähigkeit bis -40 °C durch Legierung mit Titan, Bor und ggf. Nickel
- allgemeine Richtlinie: maximale Wandstärke 45 mm

Hauptanwendungsgebiete:

Schweißen von Kehl- und Stumpfstoßnähten in allen Positionen und Schweißen von Stumpfstoßnähten in steigender oder Querposition auf keramischer Badsicherung. Für alle Zwangspositionen inklusive Rohrverbindungsschweißungen können Fülldrahtelektroden mit schnell erstarrender rutiler Schlacke vollmechanisiert verarbeitet werden.

Fülldrahtelektroden mit basischer Schlacke (B-Typ)

Charakteristische Eigenschaften:

- ausgezeichnete mechanisch/technologische Eigenschaften des Schweißguts (auch bei sehr tiefen Temperaturen), sowohl im Schweißzustand als auch nach Wärmebehandlung
- aufgrund des mittel- bis grobtropfigen Werkstoffübergangs uneingeschränkt zum Wurzelschweißen geeignet
- höchste Riss-Sicherheit

Hauptanwendungsgebiete:

Höherbeanspruchte Schweißverbindungen ohne Wandickenbegrenzung in Wannen- und Horizontalposition. Das Schweißen in Zwangsposition findet aufgrund der dünnflüssigen Schlacke nur bedingt Anwendung.

Metallpulverfülldrahtelektroden (M-Typ)

Charakteristische Eigenschaften:

- Höhere Strombelastbarkeit im Vergleich zu Massivdrahtelektroden, woraus höhere Abschmelzleistungen resultieren
- sehr feintropfiger Werkstoffübergang im Sprühlichtbogenbereich (ab ca. 160 A bei Ø 1,2 mm)
- feingezeichnete, schlackenfreie Nahtoberfläche mit wenigen leicht entfernbaren Silikatinseln
- breiter, stabiler Lichtbogen mit ausgezeichneten Benetzungseigenschaften ==> sicherer Einbrand
- auch in Wurzellagen und Zwangspositionen verarbeitbar

Hauptanwendungsgebiete:

Schweißen in Wannen- und Horizontalposition mit hohen Abschmelzleistungen und daraus resultierenden hohen Schweißgeschwindigkeiten. Aufgrund der sehr guten Eignung für Mehrlagenschweißung ohne Zwischenreinigung kommt dieser Typ auch in automatisierten Schweißprozessen zur Anwendung.

SCHWEIßVERFAHREN

Teilmechanisiertes Metallschutzgasschweißen mit Fülldrahtelektroden

Im Schiffbau sind wegen der beengten Verhältnisse im Sektionsbau und bei kurzen Nähten nach wie vor viele Schweißaufgaben nicht vollmechanisierbar. Die Entwicklung der Fülldrahtelektroden konzentrierte sich selbstverständlich auch

process (Fig. 2), however increasing the deposition rate has not been the sole objective. When welding in position with rutile flux-cored wires, it remains vitally important for the welder to be able to control effectively a higher level of current carrying capacity in the cored wire and a higher deposition rate through the enhanced weld bead support given by the freezing characteristic of the rutile slag.

Fig. 2 - Performance data for rutile flux-cored wires used for fillet welding (a = 4mm) in the vertical-up position

	Torch without weaving	Torch with weaving
Welding parameter	Wire speed = 8,5 m/min U = 24 V I = 220 - 250 A	Wire speed = 5,5 m/min U = 22 V I = 180 - 220 A
Welding speed	↑↑	↑
Gap bridging characteristics	good	better
Re-melting of tack points (basic)	good	better
Re-melting of similar MAG tack points	good	good
Efficiency	very high	high

Fully-Mechanised Gas Metal Arc Welding with Flux-Cored Wires

Wherever possible, gas metal arc welding is fully mechanised. For circular seams, the OERLIKON CITOTRACK OSG 01 MAG orbital equipment is used. For all other positions, the OERLIKON CITOTRACK VSG 01 MAG vertical welding equipment is used. This is preferred for welding the outer skin of the hull of a ship using a ceramic backing. With its robustness and flexibility, it is suitable for use in the production environment of the shipyard. Weighing only 20 kg including the wire spool (K 200 basket spool weighing 5 kg) it is easy to handle and can be set up and removed by a single welder. For similar reasons of weight, the burner system has an air cooling system. On one side of the joint there are guide rails secured in place by magnetic bridges to ensure accurate guidance. All of the welding parameters, such as welding current, operating voltage, dwell time on the sides of the joint, oscillation width and speed, can be pre-selected for each welding situation on the control box, so that the welder can concentrate on observing the process and making any slight corrections to the process parameters which may be required. An OERLIKON CITOMAG 506 is used as the constant voltage DC power source. When basic or rutile flux-cored wires are used, unlike the situation with solid-wire electrodes, the use of a pulsed current technique is unnecessary, thus making it easier for the welder to control the procedure when welding.

Metal-core wires are used for welding single or multi-layer welded joints without any need for intermediate layer cleaning and are equally suitable for welding fillet seams and butt joints. They are preferred for applications in the horizontal and down hand positions with a high deposition rate

hier auf die Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit (Bild 2), die jedoch nicht nur auf einer Erhöhung der spezifischen Abschmelzleistung beruht. Beim Schweißen in Zwangspositionen mit rutilen Fülldrahtelektroden ist es vielmehr wichtig, dass eine höhere Strombelastbarkeit des Zusatzwerkstoffs und eine höhere Abschmelzleistung durch die verbesserte Stützwirkung der rutilen Schlacke vom Schweißer beherrschbar sind.

Bild 2 - Leistungsdaten des FLUXOFIL 14 HD Ø 1,2 mm, Schutzgas DIN EN 439 M 21 beim Kehlnahtschweißen (a = 4 mm) in Steigposition

	Ungependelte Brennerführung	Gependelte Brennerführung
Schweißparameter	vDraht = 8,5 m/min U = 24 V I = 220 - 250 A	vDraht = 5,5 m/min U = 22 V I = 180 - 220 A
Schweißgeschwindigkeit	↑↑	↑
Spaltüberbrückbarkeit	gut	besser
Überschweißen von Heftstellen (basisch)	gut	besser
Überschweißen von artgleichen MAG-Heftstellen	gut	gut
Wirtschaftlichkeit	sehr hoch	hoch

Vollmechanisiertes Metallschutzgaschweißen mit Fülldrahtelektrode

Wo immer möglich, wird das Metallschutzgaschweißen vollmechanisiert. Bei Rundnähten wird das MAG-Orbitalgerät CITOTRACK OSG 01 eingesetzt, für alle anderen Zwangspositionen eignet sich das MAG-Vertikal-Schweißgerät CITOTRACK VSG 01. Bevorzugt wird es zum Schweißen der Außenhaut des Schiffskörpers auf Keramikunterlage angewandt. Aufgrund seiner Robustheit und Flexibilität ist es für den rauen Werfteinsatz geeignet. Wegen des geringen Gewichts von 20 kg einschließlich Drahtspule (Korbspule K 200 mit 5 kg Gewicht) und der Handlichkeit kann es von einem Schweißer an- und abgebaut werden. Ebenfalls aus Gewichtsgründen besitzt das Brennersystem eine Luftkühlung. Zur exakten Führung werden auf einer Seite der Naht Führungsschienen mittels Magnetbrücken befestigt. Sämtliche Schweißparameter wie Schweißstrom, Arbeitsspannung, Verweilzeit an den Fugenflanken, Pendelhub sowie Pendel- und Steiggeschwindigkeit können für jede Schweißlage auf der Steuerbox vorgewählt werden, so dass sich der Schweißer auf die Prozessbeobachtung konzentrieren und ggf. leichte Korrekturen an den Prozessparametern vornehmen kann. Als Stromquelle wird eine Konstantspannung-Gleichstromquelle CITOMAG 506 eingesetzt. Bei Einsatz von basischen oder rutilen Fülldrahtelektroden kann im Gegensatz zu Massivdrahtelektroden auf die Anwendung der Impulslichtbogen-technik verzichtet werden, so dass das Verfahren vom Schweißer insgesamt leicht zu beherrschen ist.

Metallpulverfülldrahtelektroden kommen zum Schweißen von ein- oder mehrlagigen Verbindungen ohne Zwischenlagenreinigung zum Einsatz, wobei sie gleichermaßen für das Schweißen von Kehlnähten und Stumpfstoßverbindungen geeignet sind. Sie werden bevorzugt in Horizontal- und Wannensposition mit hoher Abschmelzleistung und entsprechend hoher Schweißgeschwindigkeit (Bild 3) verarbeitet.

Fig.3: Performance data for metal-cored wires

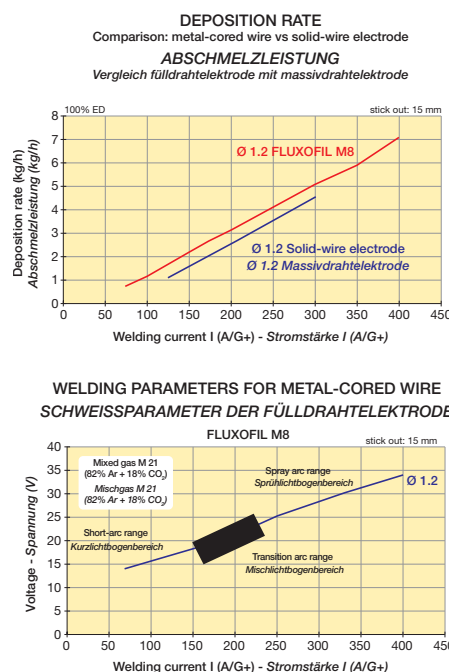


Bild 3: Leistungsdaten eines Metallpulverfülldrahts

and correspondingly high welding speed (Fig. 3). Due to their good re-ignition properties and smooth arc characteristic, they are excellent for robotic welding applications.

Electro-Gas Welding with Flux-Cored Wire

Within the fully-mechanised gas metal arc welding processes, in terms of economy, a special position is assigned to electro-gas welding (Fig. 4) as the process operates in the vertical welding position with a single-pass welding technique at a high deposition rate. The weld pool is supported by water-cooled copper shoes at the front and rear sides of the plates being welded and the wire can be guided perpendicularly into the weld pool from the top. Work can also be carried out against a ceramic underlay situated at the rear side. The process is used with inert gas, CO₂, or preferably mixed gases.

Micro-alloyed flux-cored wires for electro-gas welding utilise a basic slag type and produce good weld metal toughness properties, despite the high levels of heat input characteristic of this process. The problem of overheating and the subsequent poor weld metal toughness properties therefore does not arise for the weld metal, however it still continues to affect the coarse-grained microstructural areas in the base material. For this reason, the use of thermo-mechanically treated (TM) steels, which generally display a lower level of susceptibility to heat input, are recommended.

The electro-gas welding equipment is designed so that the wire feeder unit, control unit, display instruments and fixing devices are integrated onto the carriage. The carriage is guided along a profile rail using a toothed rack, thus allowing the sliding shoe to be pressed into contact on one side by means of a pneumatic pressure device. The carriage is advanced at a set speed, in order to avoid the copper sliding shoe becoming attached. Fine adjustment of the wire travel is carried out using an electronic controller measuring the free end of the wire. This means that the process can be used with a high degree of process security, eliminating operator error.

Submerged-Arc Welding with Flux-Cored Wires

Submerged-arc welding remains the classic shipbuilding process - and the process is difficult to improve in terms of cost-effectiveness - for welding long fillet seams in the horizontal position and butt joints in the down hand position. For reasons of economy, the preferred approach to butt joint welding is single-sided welding with a single pass for plate up to 15 mm thick or the 2-run welding technique. However, the latter method assumes that the large plates involved can be turned over. If, because of the absence of turning equipment or limited height within the hall this is not possible, the work is undertaken from one side using the single-pass technique. With this process, steps must be taken to ensure relatively tight tolerances within the root gap over the entire length of the joint by appropriately securing the plates in place. This requires the plates to be held in

Aufgrund Ihrer guten Wiederzündeeigenschaften und des weichen Lichtbogens sind sie hervorragend für den Robotereinsatz geeignet.

Elektrogasschweißen mit Fülldrahtelektroden

Unter den vollmechanisierten Metallschutzgasschweißverfahren nimmt das Elektrogasschweißen (Bild 4) hinsichtlich Wirtschaftlichkeit eine Sonderstellung ein, da das Verfahren in senkrechter Schweißposition in Einlagentechnik mit einer hohen Abschmelzleistung arbeitet. Das Schmelzbad wird von wassergekühlten Kupferschuhen auf der Blechvorder- und Rückseite gehalten und der Draht wird von oben senkrecht auf das Schmelzbad geführt. Es kann auch gegen eine Keramikunterlage auf der Rückseite gearbeitet werden. Als Gasschutz wird CO₂ oder vorzugsweise Mischgas eingesetzt.

Die mikrolegierten Fülldrahtelektroden zum Elektrogasschweißen haben eine basische Schlackencharakteristik und ergeben daher in Verbindung mit den Mikrolegierungselementen Ti und B

gute Schweißgutzähigkeitswerte, auch bei der hohen Wärmeeinbringung mit diesem Verfahren. Die Problematik der Überhitzung und folglich ungünstiger Zähigkeitseigenschaften besteht daher nicht für das Schweißgut, betrifft aber nach wie vor die Grobkomzone im Grundwerkstoff. Die Verwendung von thermomechanisch behandelten Stählen (TM), die i.A. eine geringere Überhitzungsempfindlichkeit aufweisen, ist aus diesem Grund empfehlenswert!

Das Gerät zum Elektrogasschweißen ist so konzipiert, dass Drahtvorschubeinheit, Steuerung, Anzeigeinstrumente und Anpresselemente auf dem Fahrwagen integriert sind. Das Fahrwerk wird auf einer Profilschiene mit Zahnstange geführt und erlaubt damit das einseitige Anpressen des Gleitschuhs über eine pneumatische Anpressvorrichtung. Das Fahrwerk wird mit einer Grundgeschwindigkeit vorgeschoben, so dass ein Festbacken des Kupfergleitschuhs vermieden wird. Die Feinabstimmung der Steiggeschwindigkeit erfolgt über eine elektronische Regelung über die Messung des freien Drahtendes. Das Verfahren läßt sich daher mit einer hohen Prozess-Sicherheit gegen Schweißfehler betreiben.

Unterpulverschweißen mit Fülldrahtelektroden

Das Unterpulverschweißen ist nach wie vor das klassische und auch wirtschaftlich kaum zu übertreffende Verfahren im Schiffbau zum Schweißen langer Kehlnähte in Horizontalposition und Stumpfstoßen in Wannenposition. Zum Stumpfstoßschweißen wird aus wirtschaftlichen Gründen das Einseitenschweißen einlagig bis zu 15 mm Blechdicke oder das Lage/Gegenlageschweißen gewählt. Das letztere Verfahren setzt allerdings voraus, dass die großen Blechsegmente gewendet werden können. Ist dies aufgrund fehlender Wendeeinrichtungen oder begrenzter Hallenhöhe nicht möglich, wird von einer Seite in Einlagentechnik gearbeitet. Hierzu ist die Einhaltung relativ enger Toleranzen des Fügespalts über die gesamte Nahtlänge durch entsprechende Fixierung der Bleche beim Schweißen sicherzustellen. Hierzu müssen die Bleche mit starken Magneten

Fig.4: Principle of the Electro-Gas Welding Process

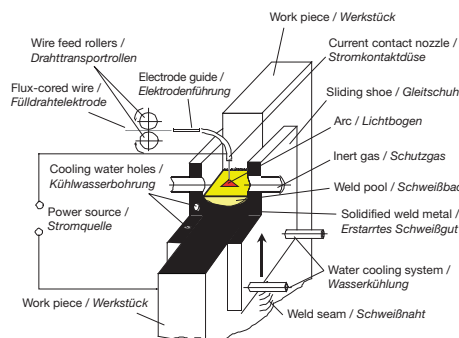


Bild 4: Verfahrensprinzip des Elektrogasschweißens

place by powerful magnets or hydraulic equipment. From the underside, a flux backing (OP 10 U) is pressed against the root gap to support the weld pool. If the tolerances in the preparation of the seam are tight and if any distortion in the plates during welding can be effectively controlled by the fixing arrangement, the joint can be reliably welded, leaving a clean underside to the weld produced. The welding parameters must be carefully selected to correspond to the welding application and must also be controlled within tight limits to avoid the possibility of the weld pool falling through the root gap. In this respect, the two-run welding technique is considerably less affected by the peripheral conditions.

Submerged-arc welding with multiple cored wires, uses a combination of direct current for the first wire and alternating current for the following 1-2 welding heads. In order to meet the strength requirements of the weld metal, the FMI process (Flux Micro Injection) is used with micro-alloyed basic flux-cored wires. The micro-alloying produces a fine-grained weld metal in the as welded condition - despite the high heat input - and this is without any subsequent heat treatment from subsequent layers, as is the case when multi-layer welding. When multiple wire welding, only one flux-cored wire (type OERLIKON FLUXOCORD 35.25 ...D) is used, containing all of the required alloying elements, in combination with unalloyed and correspondingly less expensive solid wires (type OERLIKON A 105) - see Fig. 5. A medium-basic SAW welding flux, OERLIKON OP 122 is used, thus combining good operating characteristics in the multi-wire process with good weld mechanical properties.

Single-Pass One-Sided Welding

This technique is selected where access is not available for the second run, or it is not possible to turn the plates. Consideration can be given to ceramic and Cu strips with flux backing as the means for securing the weld pool. To ensure reliable penetration during welding and more favourable welding of the joint using the square butt weld preparation, the plates are set in position with a gap of 3 mm. Fig. 6 shows the process-specific data in respect of joint preparation and process parameters for plate thicknesses up to 15 mm. The weld beads are free of any internal or external welding defects. For all welds, hardness surveys were also carried out, showing the absolute values to be an average of 200 HV 10, thus representing a regular, non-critical level. For the impact toughness of the weld metal, apart from the weld metal composition there are several influencing factors, such as the number of wire electrodes, plate thickness and type, weld pool backing and heat input per unit length (of weld). For the examples in Fig. 6, impact energy > 60 J at -20 °C was achieved in the weld metal (trials 2 and 3 > 130 J).

oder hydraulisch gehalten werden. Von unten wird ein Pulverkissen (OP 10 U) als Badsicherung gegen den Wurzelspalt gepresst. Sind die Toleranzen in der Nahtvorbereitung gering und ist durch die Fixierung ein Verzug der Bleche beim Schweißen sicher ausgeschlossen, werden einwandfreie Durchschweißungen mit einer sauberen Nahtunterseite erzeugt. Auch die sorgfältig auf die Schweißaufgabe abgestimmten Schweißparameter müssen in engen Grenzen gehalten werden, um ein Durchfallen der Naht zu vermeiden. Demgegenüber ist das Lage/Gegenlageschweißen wesentlich unempfindlicher gegenüber den angeführten Randbedingungen.

Fig.5: Arrangement of wire electrodes and position of the welding head for submerged-arc welding using the FMI process

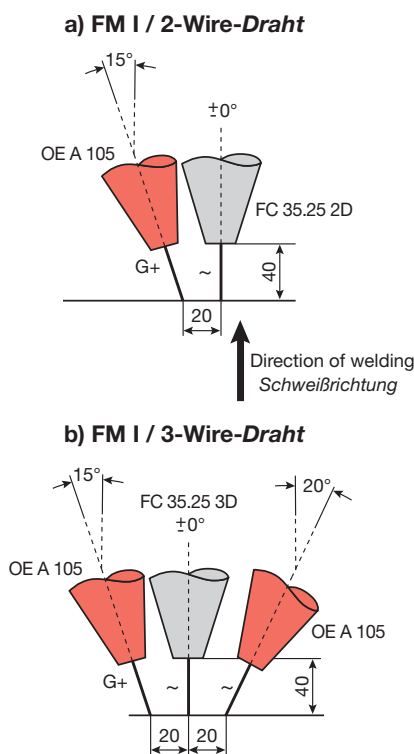


Bild 5: Anordnung der Drahtelektroden und Schweißkopfstellung beim UP-Mehrdrahtschweißen mit dem FMI-Prozess

Bei den genannten Verfahren bedient man sich der UP-Mehrdrahtschweißung mit einer Kombination aus Gleichstrom am ersten und Wechselstrom an den folgenden 1-2 Schweißköpfen. Um die Zähigkeitsanforderungen an das Schweißgut zu erfüllen, kommt der sog. FMI-Prozess (Flux Micro Injection) mit TiB-mikrolegierten Fülldrahtelektroden zum Einsatz. Durch die Mikrolegierung wird trotz der hohen Wärmebringung ein feinkörniges Schweißgutgefüge im Schweißzustand, also ohne eine Wärmenachbehandlung durch Folgelagen wie beim Mehrlagenschweißen, erzielt. Beim Einsatz mehrerer Drahtelektroden wird nur eine Fülldrahtelektrode (Typ FLUXOCORD 35.25 ...D) eingesetzt, die sämtliche erforderlichen Legierungselemente enthält und mit unlegierten und entsprechend preiswerten Massivdrahtelektroden (Typ OE A 105) kombiniert wird (s. Bild 5). Als Schweißpulver wird ein mittelbasisches Schweißpulver des Typs OP 122 verwendet, das gute Schweißigenschaften im Mehrdrahtprozess mit guten Schweißgutzähigkeitswerten verbindet.

Einlagiges Einseitenschweißen

Diese Arbeitstechnik wird gewählt, falls für die Ausführung der Kapp- bzw. Gegenlage die Zugänglichkeit nicht gegeben ist, oder die Bleche nicht gewendet werden können. Als Badsicherungselemente kommen Keramik- sowie Cu-Schienen mit Pulverkissen in Betracht. Mit Rücksicht auf das sichere Durchschweißen und die günstigere Nahtausbildung im I-Stoß ist beim Positionieren der Bleche ein Luftspalt bis 3 mm vorteilhaft. Bild 6 gibt Aufschluss über die verfahrensspezifischen Daten bezüglich der Nahtvorbereitung und Prozessparameter bis 15 mm Blechdicke. Die Nähte sind frei von inneren und äußeren Schweißfehlern. Ergänzend wurden bei allen Schweißungen Härteuntersuchungen durchgeführt, wobei die Absolutwerte im Durchschnitt um 200 HV 10 liegen und damit einem üblichen, unkritischen Niveau entsprechen. Für die Kerbschlagzähigkeit des Schweißguts gibt es neben der Schweißgutlegierung eine Reihe von Einflussfaktoren wie Anzahl der Drahtelektroden, Blechdicke, -sorte, Badsicherung und Streckenenergie. Bei den Beispielen in Bild 6 wurde eine Kerbschlagarbeit > 60 J bei -20 °C im Schweißgut erreicht (Versuch 2 und 3 > 130 J).

Fig. 6 - Process-specific data for single-pass one-sided welding at s = 10 to 15 mm (welding flux OERLIKON OP 122)

Id. No	Base material	Joint preparation and structure	Welding process and welding consumables	I (A)	U (V)	V _s (cm/min)	E (kJ/cm)	L ₂₅ (kg/h)
1	A		FMI / 2-wire 1. Head OE A 105	750 G+	32	100	29,5	20,5
			2. Head FC 35.25-2D	700-	36			
2	D 36		Submerged-arc single wire FC 35.25	850 G+	32	40	39,8	13,5
3	A		FMI / 2-wire 1. Head OE A 105	950 G+	32	90	43,1	28,5
			2. Head FC 35.25-2D	900-	36			

Two-Run Welding Technique

Similar to single-pass one-sided welding, the 2-run welding technique can be used for plates up to 15 mm using a square edge butt. In this plate thickness range in each individual case the decision must be taken in accordance with the requirements for impact toughness as to which weld preparation is necessary. What is certain is that as the proportion of weld filler in the welded joint increases, i.e. as the degree of dilution is reduced, strength is improved. As a rule, the prepared angle is 60-80°, depending on the wall thickness. Suitable joint preparations are both symmetrical and asymmetrical DY seams. In accordance with the technological approach, a root face of approximately 6 mm is recommended. The plates are tack welded right through from one side using the MIG process. In this way and apart from clamping, there is also an additional securing effect produced for the weld pool. The tack welded side is generally welded last. In Fig. 7, examples of welds on plates of 10 - 20 mm with FMI / 2-wire and 3-wire variants are shown. Weld toughness levels of at least 120 J at -20°C were achieved.

Fig. 7 - Process-specific data for the two-run welding technique at s = 10 to 20mm (welding flux OP 122)

Id. No	Base material	Joint preparation and structure	Welding process and welding consumables	I (A)	U (V)	V _s (cm/min)	E (kJ/cm)	L ₂₅ (kg/h)
4	D 36		FMI / 2-wire Layer 1. Head OE A 105	550 G+	32	110	20,4	17
			2. Head FC 35.25-2D	550-	36			
			Second run 1. Head OE A 105	620 G+	32	110	22,6	18
			2. Head FC 35.25-2D	600-	36			
5	D 36		FMI / 3-wire Layer 1. Head OE A 105	650 G+	32	150	26,5	26,5
			2. Head FC 35.25-3D	650-	35			
			3. Head OE A 105	650-	38			
			Second run 1. Head OE A 105	800 G+	32	150	31,4	31
			2. Head FC 35.25-3D	750-	35			
			3. Head OE A 105	700-	38			
6	H II		FMI / 3-wire Layer 1. Head OE A 105	780 G+	32	140	33,0	30
			2. Head FC 35.25-3D	730-	35			
			3. Head OE A 105	700-	38			
			Second run 1. Head OE A 105	950 G+	32	140	40,7	39
			2. Head FC 35.25-3D	900-	35			
			3. Head OE A 105	850-	39			

Bild 6 - Verfahrensspezifische Daten zum einlagigen Einseitenschweißen bei s = 10 bis 15 mm (Schweißpulver: OERLIKON OP 122)

Ident.-Nr.	GW	Nahtvorbereitung und Aufbau	Schweißverfahren und Zusatzwerkstoff (ø 4mm)	I (A)	U (V)	V _s (cm/min)	E (kJ/cm)	L ₂₅ (kg/h)
1	A		FMI / 2-Draht 1. Kopf OE A 105	750 G+	32	100	29,5	20,5
			2. Kopf FC 35.25-2D	700-	36			
2	D 36		UP Enddraht FC 35.25	850 G+	32	40	39,8	13,5
3	A		FMI / 2-Draht 1. Kopf OE A 105	950 G+	32	90	43,1	28,5
			2. Kopf FC 35.25-2D	900-	36			

Lage-Gegenlage-Schweißen

Vergleichbar der einlagigen Einseitenschweißung kann die Lage-Gegenlage-Technik bis etwa 15 mm im I-Stoß angewandt werden. In diesem Blechdickenbereich muss gemäß den Anforderungen an die Kerbschlagarbeit fallweise entschieden werden, ob eine Nahtöffnung erforderlich ist. Es gilt als sicher, dass mit Zunahme des Zusatzwerkstoffanteils in der Schweißnaht, d. h. bei geringerem Aufmischungsgrad, das Zähigkeitsverhalten verbessert wird. In der Regel beträgt der Öffnungswinkel in Abhängigkeit von der Wanddicke 60 - 80°. Als Fugenvorbereitung eignen sich sowohl symmetrische wie auch unsymmetrische DY-Nähte. Entsprechend der gewählten Technologie ist ein Steg von ca. 6 mm vorzusehen. Die Bleche werden einseitig im Schutzgasverfahren durchgehend geheftet. Dadurch wird neben der Fixierung eine zusätzliche Badsicherung geschaffen. Die geheftete Seite wird i. A. zuletzt geschweißt. In Bild 7 sind Beispiele von Schweißungen an Blechen von 10 - 20 mm mit FMI/2D-, 3D- Varianten gezeigt. Auch hier wurden mindestens 120 J bei -20°C im Schweißgut erreicht.

Bild 7 - Verfahrensspezifische Daten zum Lage-Gegenlage-Schweißen bei s = 10 bis 20 mm (Schweißpulver: OP 122)

Ident.-Nr.	GW	Nahtvorbereitung und Aufbau	Schweißverfahren und Zusatzwerkstoff (ø 4mm)	I (A)	U (V)	V _s (cm/min)	E (kJ/cm)	L ₂₅ (kg/h)
4	D 36		FMI / 2-Draht Lage 1. Kopf OE A 105	550 G+	32	110	20,4	17
			2. Kopf FC 35.25-2D	550-	36			
			Gegenlage 1. Kopf OE A 105	620 G+	32	110	22,6	18
			2. Kopf FC 35.25-2D	600-	36			
5	D 36		FMI / 3-Draht Lage 1. Kopf OE A 105	650 G+	32	150	26,5	26,5
			2. Kopf FC 35.25-3D	650-	35			
			3. Kopf OE A 105	650-	38			
			Gegenlage 1. Kopf OE A 105	800 G+	32	150	31,4	31
			2. Kopf FC 35.25-3D	750-	35			
			3. Kopf OE A 105	700-	38			
6	H II		FMI / 3-Draht Lage 1. Kopf OE A 105	780 G+	32	140	33,0	30
			2. Kopf FC 35.25-3D	730-	35			
			3. Kopf OE A 105	700-	38			
			Gegenlage 1. Kopf OE A 105	950 G+	32	140	40,7	39
			2. Kopf FC 35.25-3D	900-	35			
			3. Kopf OE A 105	850-	39			

USE OF FLUX-CORED WIRES WITH REFERENCE TO SELECTED APPLICATIONS IN SHIPBUILDING

The application of the various welding technologies used in ship construction with the corresponding welding consumables is presented in summary form in Fig.8.

EINSATZ VON FÜLLDRAHELEKTRODEN ANHAND AUSGEWÄHLTER BEISPIELE IM SCHIFFBAU

Die Anwendung der verschiedenen Schweißtechnologien im Sektionsbau mit den entsprechenden Schweißzusatzwerkstoffen ist im Überblick in Bild 8 dargestellt.

Fig.8: Use of flux-cored wires in ship construction

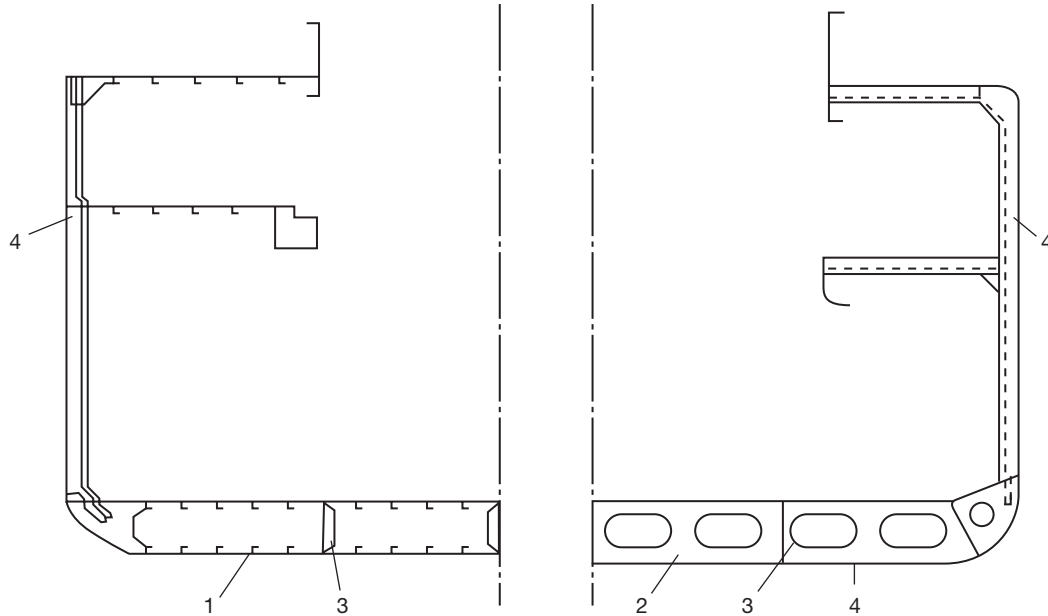


Bild 8: Einsatz von Fülldrahelektroden im Schiffbau

Area of Application	Welding Process	OERLIKON consumable
1. Flat section pre-assembly > Profile on ship plate assembly fillet welding on both sides	Submerged-arc MAG	FLUXOCORD 31 FLUXOFIL M 8 FLUXOFIL 19 HD FLUXOFIL 21 HD
2. Flat section pre-assembly > Plate joints on one side > Plate joints on both sides (two-run technique)	Submerged-arc Submerged-arc- FMI Submerged-arc	FLUXOCORD 35.25 FLUXOCORD 35.25-2 wire + 1xOE A 105 FLUXOCORD 35.25-3 wire + 2xOE A 105 FLUXOCORD 31
3. Volume section pre-assembly, e.g. double-wall section > Fillet weld seams in position	MAGM MAGC	FLUXOFIL 19 HD FLUXOFIL 21 HD
4. Section joints, final assembly > Outer skin, vertical-up position > Flat keel, overhead position	MAGM MAGC EG MAGM MAGC	FLUXOFIL 19 HD FLUXOFIL 21 HD FLUXOREX EG 35.21 FLUXOFIL 20 FLUXOFIL 19 HD

Welding flux used: OERLIKON OP 122.

Einsatzgebiet	Schweißverfahren	OERLIKON-Bezeichnung des Schweißzusatzwerkstoffs
1. Vormontage Flächensektion > Profil auf Plattenplan Kehlnahtschweißung beidseitig	UP MAG	FLUXOCORD 31 FLUXOFIL M 8 FLUXOFIL 19 HD FLUXOFIL 21 HD
2. Vormontage Flächensektion > Plattenverbindungen einseitig > Plattenverbindungen beidseitig (Lage/Gegenlage)	UP UP - FMI UP	FLUXOCORD 35.25 FLUXOCORD 35.25-2D + 1 x OE A 105 FLUXOCORD 35.25-3D + 2 x OE A 105 FLUXOCORD 31
3. Vormontage Volumensektion z. B. Doppelbodensektion > Kehlnähte in Zwangspositionen	MAGM MAGC	FLUXOFIL 19 HD FLUXOFIL 21 HD
4. Endmontage Sektionsstöße > Außenhaut Position steigend > Flachkiel Position überkopf	MAGM MAGC EG MAGM MAGC	FLUXOFIL 19 HD FLUXOFIL 21 HD FLUXOREX EG 35.21 FLUXOFIL 20 FLUXOFIL 19 HD

Als Schweißpulver wurde OERLIKON OP 122 eingesetzt.

Plasma Welding Evolutions & Challenges.

In the global range of gas arc welding processes plasma arc welding (PAW) is the highest density energy process available. This strong advantage has

Key words

- Plasma arc welding,
- Gas Tungsten Arc Welding dual gas
- Plasma Key hole
- Filler wire,
- Galvanized sheet,
- Austenitic stainless steel,
- Aluminium alloys,
- Shielding gas,
- Orbital welding.

been used for square butt joint applications mainly for flat panel in shipyard and pressure vessel fabrication (stainless steel and nickel base alloys) for thick plates and the manufacture of piping.

In microjoining processes, microplasma also has a competitive position with laser beam (LB), electron beam

(EB) low density. Today, the lack of experience and process understanding resides in 2 areas (very thin sheet /thin sheet) and thick plates. The solution of these 2 different new challenges will be reached by understanding, modelling, prediction and visualisation with dedicated testing for a new torch concept and process monitoring.

A SHORT HISTORY OF THE PLASMA ARC WELDING PROCESS:

In 1922, Gerdien and Lotz successfully focused an arc between 2 carbon electrodes via one water vortex. However the first plasma gas configuration could not be integrated for the plasma welding of metallic materials.

In 1954, Weiss and Peters developed the torch prototype based on the first experience of the TIG process.

With the first US patent written by Union Carbide, equipment was launched for cutting in 1959, overlaying in 1961 and for welding in 1963. In parallel development started in France in 1957 with a French patent 72.23.929 (Air Liquide) in 1973.

It is interesting to note in the literature, the 3 main steps in the development of PAW:

1973-1975: plasma process understanding, characterisation and keyhole stability conditions and in parallel the first preliminary applications [Ref 1 to 7],

1981-1986: plasma process understanding of molten pool movement and industrial applications in pressure vessel manufacturing, first NASA development in VPPA of aluminium and trials in orbital welding [Ref 8 to 12],

1998-1999: observations of the keyhole and industrial equipment for the plasma welding of aluminium (basics of the NASA program in 1984) [Ref 13 to 22], and the modelling of the plasma and some plasma adaptations for new applications in 2002-2007 [Ref 22 to 27].

Neue Wege und Herausforderungen beim Plasmaschweißen .

Von allen Lichtbogenschweißverfahren weist das Plasmalichtbogenschweißen die größte Energiedichte auf. Aufgrund dieses Vorteils wird es zum Schweißen von I-Stößen eingesetzt und zwar hauptsächlich in der Druckbehälterfertigung (Cr-Ni

Schlüsselwörter

- Plasma - Schweißen
- WIG - Schweißen
- Dualgas
- Plasma - Stichloch - Verfahren
- Schweißzusatz
- Verzinkte Bleche
- Austenitischer CrNi - Stahl
- Aluminiumlegierungen
- Schutzgas
- Orbitalschweiße

und Nickel-Basis-Legierungen) sowie im Rohrleitungsbau und für Flachpaneele im Schiffbau. Vorteile bieten sich dabei einerseits durch das Verschweißen von Stumpfstoßen größerer Blechstärken und das Erreichen einer hohen metallurgischen Güte der Naht.

Für niedrige Materialstärken steht das Mikroplasmaschweißen auch im Wettbewerb zum Laserstrahl-

und Elektronenstrahlschweißen mit niedriger Energie. Heute wird bei diesen Verfahren vornehmlich an der Anwendung sehr dünner und sehr dicker Bleche geforscht. Diese beiden Herausforderungen werden mit Untersuchungen für ein besseres Verständnis des Verfahrens, Verfahrenssimulationen, neue Brennerkonzepte und Verfahrensüberwachung angegangen.

GESCHICHTE DES PLASMALICHTBOGENSCHWEIßENS

Im Jahre 1922 gelang es Gerdien und Lotz mittels eines Wasservortex einen fokussierten Lichtbogen zwischen zwei Kohleelektroden zu erzeugen. Aber diese erste Plasmagaskonfiguration konnte nicht für das Plasmaschweißen von Metallwerkstoffen eingesetzt werden.

1954 entwickelten Weiss und Peters den Prototyp eines Brenners, der auf den ersten Erfahrungen mit dem WIG-Schweißen beruhte.

Unter dem ersten Patent von Union Carbide in den USA wurden 1959 Schneidanlagen, 1961 Anlagen zum Auftragen und 1963 Schweißanlagen auf den Markt gebracht. Parallel dazu begannen 1957 in Frankreich Entwicklungen, die 1973 in ein französisches Patent 72.23.929 (AL) mündeten.

Es ist interessant, dass es in der Fachliteratur 3 Hauptphasen in der Entwicklung des Plasmalichtbogenschweißens gibt:

1973-1975: Plasmaverfahren mit Beschreibung der Bedingungen für die Stichlochstabilität sowie die ersten Anwendungen. [Ref 1 to 7].

1981-1986: Plasmaverfahren mit Bewegungen des Schweißbades und industriellen Anwendungen bei der Druckbehälterfertigung. Erste NASA Entwicklung zum Plasma-Wechselstromschweißen von Aluminium und Versuche mit dem Orbitalschweißen. [Ref 8 to 12].

1998-1999: Beobachtungen des Stichlochs und Industrieanlagen zum Plasmaschweißen von Aluminium (Grundlagen der NASA 1984) [Ref 13 to 22], und 2002-2007 Plasmamodelle und Plasmaanpassungen zur Umsetzung neuer Anwendungen [Ref 22 to 27].

CURRENT APPLICATIONS OF PLASMA ARC WELDING

1. Based on the typical performance recorded in Table 1, the main applications in pressure vessel and piping concern carbon steels and stainless steels which require:

- Welding speed and flexibility in square butt joint preparations (see Table 1 and Fig. 2),
- X-Ray soundness of the butt welds,
- Satisfactory mechanical properties [except impact testing at low temperatures].

Arc constriction is improved by an increase of plasma gas flow and current but is originally initiated by the plasma nozzle where the configuration is adapted to the thickness to be welded (Table 1):

Range A is the area of microplasma microTIG and TIG

Range B: Plasma in melt in mode and key hole mode & Dual TIG in both modes
Range C and D: Plasma keyhole mode mainly.

In Fig. 1, different TIG and Plasma curves are shown, Dual TIG keyhole has attractive welding speed performance (higher than Plasma keyhole in the range 3 to 7mm, but limited in the flat position due to the important cross section of the molten pool (gravity effect).

The feed back of these industrial activities allowed the appreciation of the robustness of PAW Fig. 2 (gap and misalignment) which is more attractive than the high energy density beam LB and EB.

This table of data and Fig. 2 prove the process adaptability following the welding position and also the flexibility, hence the applications for pressure vessel

Table 1: Comparative performance Welding speed vs Thickness of TIG, Dual TIG Dual TIG keyhole and Plasma keyhole single torch. Material: austenitic stainless steel

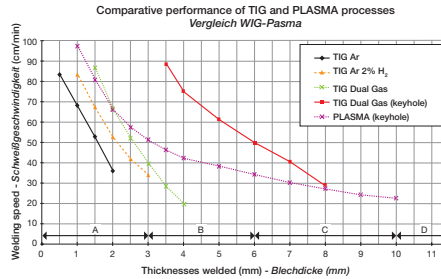


Tabelle 1: Gegenüberstellung von Schweißgeschwindigkeit und Wandstärken beim WIG- / WIG- Dualgas- / WIG- Dualgas- Stichloch und Plasmastichlochverfahren mit einem Brenner. Grundwerkstoff: austenitischer rostfreier Stahl

Fig. 1: Plasma nozzle configuration and electrode set up for a range of material thicknesses

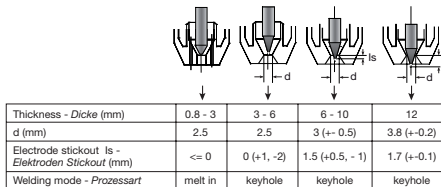


Bild 1: Plasmadüsen und Elektroden-Aufbau nach Materialstärke

Fig. 2: Gap and misalignment tolerances for stainless steel in plasma single pass, flat position

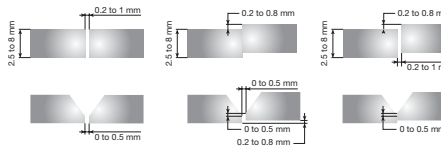


Bild 2: Luftspalt- und Versatztoleranz bei rostfreiem Stahl beim Einlagen-Plasmastichschweißverfahren in flacher Position

Table 2: Typical parameters plasma keyhole, welding a butt joint in the flat position (austenitic stainless steel)

Thick Stärke	Plasma nozzle Plasmadüse	Electrical parameter Schweißparameter			Filler wire Schweißdraht		Plasma Gas Plasmagas		Annular Gas Äußeres Gas	
		I (A)	V (V)	Ws (cm/min)	o.d	Wfs (m/min)	mixes	Flow (l/min)	mixes	Flow (l/min)
2	2.5 cyl	110	26	65	1	0.6	Ar	2-3	Ar He	15
3		130-150	25-27	45-50	1	0.6	Ar	3.5-4.5	Ar He	20
4		150-170	28	45	1.2	0.6	Ar	5	Ar He	20
5		180	30	45	1.2	0.6	Ar	5	Ar He	20
6		180	30	35	1.2	0.6	Ar	6	Ar He	20
6	2.5 conv-div	250	26	45	1.2	0.6	Ar	8	Ar He	25
8		280	30	30	1.2	0.6	Ar	10	Ar He	25
10	2.5 conv-div	380	29	18	1.2	1.0	Ar	10	Ar He	25
12		320	28	18	1.2	1.8	Ar	10	Ar He	25

Tabelle 2: Typische Parameter des Plasmastichschweißens (Stumpfstoß in Wannenlage auf austenitischem CrNi-Stahl)

Table 3: Plasma keyhole welding a butt joint in the horizontal position (austenitic stainless steel)

Thick Stärke	Plasma nozzle Plasmadüse	Electrical parameter Schweißparameter			Filler wire Schweißdraht		Plasma Gas Plasmagas		Annular Gas Äußeres Gas	
		I (A)	V (V)	Ws (cm/min)	o.d	Wfs (m/min)	mixes	Flow (l/min)	mixes	Flow (l/min)
4	2.5 conv-div	170	28	40	1.2	1.2	Ar	4	Ar 7% He	15
6	3.0 conv-div	270	30	35	1.2	1.5	Ar	3.5	Ar 7% He	15
8	3.0 conv-div	300	26	24	1.2	1.8	Ar	3.5	Ar 7% He	20
8		250	30	26	1.2	0.6	Ar	8	Ar 5% He	20

Tabelle 3: Plasmastichschweißens (Stumpfstoß in Querposition austenitischer CrNi Stahl)

DERZEITIGE ANWENDUNGEN DES PLASMALICHTBOGEN-SCHWEIßENS

1. Verfahrensgrundlagen und allgemeine Anwendungen. In Tabelle 1 sind die allgemein erreichbaren Prozessleistungen in Form der Schweißgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Blechstärken dargestellt. Diese Werte entsprechen weit verbreiteten Anwendungen von I-Stößen im Druckbehälterbau und Rohrfertigung aus Kohlenstoffstahl und rostfreiem Stahl. Dabei sind 3 Kriterien besonders wichtig:

- Schweißgeschwindigkeit und Flexibilität bei der I-Stoß-Nahtvorbereitung (siehe Tabellen 1 und Bild 2),
- Röntgensicherheit der Stumpfstöße
- gute mechanische Eigenschaften [mit Ausnahme der Kerbschlagzähigkeit bei niedrigeren Temperaturen].

Die obenstehende Tabelle ist in drei Bereiche A, B und C eingeteilt die den unterschiedlichen Verfahrensvarianten entsprechen

Bereich A: Mikroplasma, Mikro-WIG und WIG
Bereich B: Plasma im "melt in"- und Stichlochverfahren, Dualgas WIG

Bereich C und D: Plasmastichloch-Verfahren
Das Dualgas-WIG-Stichloch-Verfahren bietet attraktive Ergebnisse in Hinblick auf die Geschwindigkeit (Ws) (höher als beim Plasmastichlochverfahren im Bereich 3 bis 7 mm), ist allerdings durch den großen Querschnitt des Schweißbades (Schwerkrafteffekt) auf den Einsatz in Wannenlage beschränkt.

Die Lichtbogeneinschnürung wird durch die Erhöhung des Plasmagasflusses und der Stromstärke erreicht, geht aber ursprünglich von der Plasmadüse aus, deren Konfiguration von der zu schweißenden Blechdicke abhängig ist. (Tabelle 1):

Die Erfahrungen in industriellen Anwendungen belegen die weitaus größere Toleranzfähigkeit und Robustheit bezüglich des maximal möglichen Luftspaltes und Versatzes im Vergleich zu den hochenergetischen Laserstrahl (LB)- und Elektronenstrahl (EB)-Verfahren. Prinzipiell ist ein Versatz oder Luftspalt von maximal 10% der Materialstärke vertretbar.

Die Daten aus dieser Tabelle und aus Bild 2

manufacturing Fig.3 and tank storage Fig.4.

2. In parallel to the pressure vessel applications, pipe welding represents another technical challenge:

- the equipment has to be integrated into a reduced space between a series of 2 forming rollers (see Fig.6)
- the welding speed has to be coordinated with the process forming speed, with the dedicated torch combination.

- 3 heads are combined with as short an inter-distance as possible to generate one common molten pool along the weld axis, thus optimising the energy distribution and then increasing the welding speed (see Table 4).

Generally, each head is a plasma torch in Dual TIG configuration, in order to protect the electrode against the aggressive environment of tube production, such as the grease and oil used during the forming stage.

Each electrode has a specific function: the first electrode is for preheating and to ensure partial penetration in continuous tack welding and to maintain the tube during the full penetration phase by the 2nd electrode. Surface finishing is performed by the 3rd electrode, with or without the addition of a filler wire.

Several solutions are available combining 2 or 3 torches

- E16, electrode distance: 16 mm combination of 3 Dual TIG available for the thickness range: 0.8 mm to 1.5 mm with the corresponding welding speed of 6 to 4 m/min
- E25, electrode distance: 25 mm combination of 3 Dual TIG Dual available for thickness range: 1.5 mm to 3.5 mm with the corresponding welding speed of 4 to 1 m/min
- TIG-Plasma-TIG: combination of plasma keyhole and Dual TIG for the thickness range 3.5 mm to 8 mm with the corresponding welding speed of 1 to 0.5 m/min.

3. Thicknesses over 8mm require a combination of 2 separate arc processes or hybrid processes.

Fig.3: Plasma welding in the flat position: circumferential welding. Chemical pressure vessel fabrication in austenitic stainless steel, 7 mm thickness



Bild 3: Plasmaschweißen von Rundhärten in Wannenlage zur Herstellung von Druckbehältern für die chem. Industrie: Austenitischer, rostfreier Stahl 7 mm

Fig.4: Plasma welding in the horizontal position: food storage tank fabrication in austenitic stainless steel, 3 mm thickness



Bild 4: Plasmaschweißen in Querposition zur Herstellung von Lagerbehältern für die Nahrungsmittelindustrie: Austenitischer, rostfreier Stahl 3 mm

Fig.5: Modification of the energy distribution to enlarge the molten pool

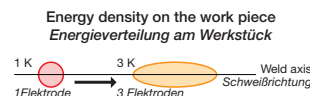


Bild 5: Änderung der Energiedichte zur Vergrößerung des Schmelzbades

Table 4: Selection of the 2K-3K processes vs thicknesses and welding speed targeted (stainless steel)

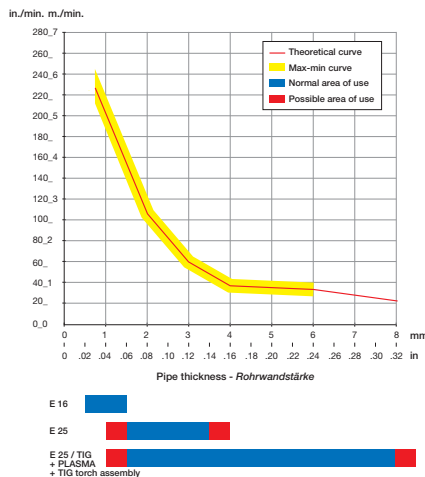


Tabelle 4: Auswahl des 2K-3K Verfahrens nach Materialstärke und angestrebter Vs (rostfreier Stahl)

zeigen die Anpassungsfähigkeit des Verfahrens an die Schweißposition und seine Flexibilität, wodurch Anwendungen im Druckbehälterbau (Bild 3) und bei Lagerbehältern (Bild 4) möglich sind.

2. Längsnahtschweißen von Rohren mit speziellen Prozessköpfen. Parallel zu den Anwendungen bei Druckbehältern ist das Rohrleitungsschweißen eine weitere technische Herausforderung. Der Verformungsvorgang des Bandes zum Rohr und das Schweißen der Längsnaht geschieht hintereinandergeschaltet auf einer Anlage. Diese Konfiguration bringt folgende Schwierigkeit mit sich:

- Einbau auf engstem Raum zwischen 2 Reihen Formrollen (siehe Bild 6)
- Die Prozessgeschwindigkeit der Rohrformung und die Schweißgeschwindigkeit müssen exakt übereinstimmen
- 3 Köpfe mit jeweils einer Elektrode werden kombiniert (Tri-Kathode), wobei der Abstand zwischen ihnen so gering wie möglich gehalten wird, um entlang der Schweißachse nur ein einziges Schweißbad zu erzeugen. Dadurch wird die Energieverteilung optimiert und die Schweißgeschwindigkeit erhöht. (siehe Tabelle.4).

Im Allgemeinen besteht jeder der 3 Köpfe aus einem Plasmabrenner in Dualgas WIG Konfiguration, um die Elektrode problemlos vor aggressiven Einflüssen wie zum Beispiel Schmierfetten zu schützen, die beim Formen verwendet werden.

Dabei hat jede Elektrode eine bestimmte Funktion:

Die erste Elektrode sorgt für das Vorwärmen und den Teileinbrand beim fortlaufenden Heften. Die 2. Elektrode sorgt für das Durchschweißen. Die Endbearbeitung der Oberfläche erfolgt durch die dritte Elektrode mit oder ohne Zusatzwerkstoff.

Es stehen verschiedene Lösungen mit 2 oder 3 Brennern zur Verfügung:

- E16: Elektrodenabstand: 16 mm, Kombination von 3 Dualgas-WIG-Brennern für die Stärken: 0,8 mm bis 1,5 mm mit der entsprechenden Schweißgeschwindigkeit von 6 bis 4 m/mn
- E25: Elektrodenabstand: 25 mm, Kombination von 3 Dualgas-WIG-Brennern für die Stärken: 1,5 mm bis 3,5 mm mit der entsprechenden Schweißgeschwindigkeit von 4 bis 1 m/mn
- WIG-Plasma-WIG: Kombination des Plasma-stichloch- und Dualgas-WIG-Verfahrens für Stärken von 3,5 mm bis 8 mm mit der entsprechenden Schweißgeschwindigkeit von 1 bis 0,5 m/mn.

3. Hybride Verfahren. Ab über 8mm machen die großen Dicken die Kombination zweier getrennten Lichtbogenverfahren oder den Einsatz hybrider Verfahren notwendig.

Fig.6: Integration of the tricathode between the forming rolls

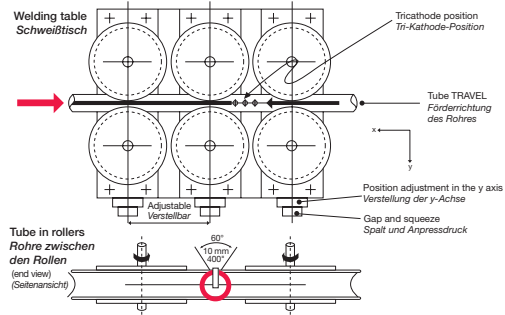


Bild 6: Einbau Trikathode zwischen den Formrollen

Today, using the performance of plasma in the keyhole mode, pipe manufacturers are able to weld 8-9 mm supported with a single plasma pass and to fill the remaining joint with a second high deposition rate process, such as TIG hot wire or submerged arc welding with 600 - 700 A (Fig.7).

Fig.7: Development of the weld preparation following the evolution of the plasma torch performance

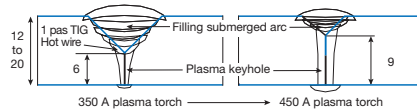


Bild 7: Entwicklung der Nahtvorbereitung gemäß Leistung des Plasmabrenners

Fig.8: Circular welds of stainless steel pipe in PAW with filler wire to compensate thickness differences and misalignment (1GR position)



Bild 8: Rundnaht an rostfreiem Stahlrohr im PAW-Verfahren mit Zusatzwerkstoff zum Ausgleich von Abweichungen in der Materialstärke und Verzug (1GR Position)

Table 5: Monitoring of the keyhole during the closure of the orbital welds



Tabelle 5: Überwachung des Stichlochs beim Schließen der Rundnaht

Fig.9: Circular welds of a stainless steel pipe/flange assembly with gas trailing shield (1GR position)



Bild 9: Rundnaht an rostfreier Rohr-/Flanschverbindung mit Schutzgas (1GR Position)

4. Plasma welding of orbital joints in piping: typical plasma applications in pressure vessels are not only the welding of the vessel, but also the pipe work: joining of the complete line (Fig.8) or branch connections made by flange to tube joints (Fig.9). Both applications are performed on machined components: the first section does not require a filler wire, for the second, the filler wire is used to compensate for geometric irregularities, thicknesses and misalignment.

If the same advantages of the plasma are maintained for the tube and plate :

- reduction of the volume of the molten pool,
- sufficient support in a single pass to support high deposition processes (SAW or GMAW), the welding of tube requires an efficient and reliable closure of the weld (Fig.8 and 9).

This means that it is necessary to manage simultaneously 7 or 8 parameters (Table 5) mainly the slope up and slope down (evanishing) of the keyhole monitoring, with close control of the plasma gas and plasma current.

Heutzutage sind Rohrerhersteller mit dem Hochleistungsverfahren Plasma-stichlochschiessen in der Lage, 8 mm Stützen einlagig im Plasmaverfahren zu schweißen und die Füll-Lagen mit Verfahren mit hohen Abschmelzleistungen wie dem WIG Heißdraht oder dem UP-Verfahren mit 600-700 A auszuführen. (Bild 7) Je größer der Steg der Wurzellage gewählt werden kann, desto geringer wird das anschließend aufzufüllende Nahtvolumen.

4. Typische Einsatzgebiete für das Plasmaschweißen im Druckbehälterbau sind selbstverständlich das Schweißen der Behälter selbst, aber auch das Schweißen von Rohren und das Verbinden ganzer Rohrleitungen (Bild 8) oder von Verbindungsstücken wie Flansch und Rohr (Bild 9). Beide Anwendungen werden an fertigen Rohren ausgeführt, wobei die erste aufgrund der Stärke keinen Zusatzwerkstoff benötigt, während bei der zweiten der Draht die geometrischen Abweichungen und den Verzug ausgleichen muss.

Es gelten die bekannten Vorteile des Plasmaschweißens:

- geringeres Volumen des Schweißbads,
- ausreichende Stütze bei der Wurzelschweißung, um anschließend Verfahren mit hoher Abschmelzleistung möglich zu machen (UP oder MIG),

Die Anwendung des Rohrfangschweißens verlangt zusätzlich ein effizientes und sicheres Schließen der Naht (Bilder 8 und 9). Dafür müssen 7 oder 8 Parameter gleichzeitig gesteuert werden (Tabelle 5); im Wesentlichen sind dies Stromanstieg und -rückgang, Menge des Plasmagases, der Zusatzwerkstoff und die Verbahrbewegung des Brenners.

APPLICATION DEVELOPMENT AND NEW ORIENTATION

The PAW process has proved its efficiency and reliability, against the more traditional processes, as previously described.

It remains to be adapted for new applications, mainly oriented to the joining of thin sheet.

Thin sheet applications

Evolution of the criteria for thin sheet

Requirements are focussed on the mechanical properties of the joints, with low distortion and good surface aspect conditions such as no spatter before a final galvanic treatment and painting.

A similar approach is required in the food and pharmaceutical industries where the base material is austenitic stainless, 1-3 mm thick.

There are common criteria, such as the high quality cosmetic smooth surface finish, with no spatter and a high level of cleanliness, required before the passivation treatment.

Applications in the automotive industry are the most representative in terms of thin sheet applications:

- aluminium alloys for the doors,
- galvanized or electrogalvanized sheet for the body in white (welding and brazing), and there are now tentative development opportunities, which now open new possibilities.

► The first application concerns aluminium tailored blanks Fig.10.

This new application has been developed by one US company in Variable Polarity TIG, it is interesting to note:

- the welding speed is higher than TIG DC He (DCEN) in single torch
- and, by pulsing the current, a very smooth weld and favourable microstructure for deep forming capability are attained.

► The second concerns a brazing technique with the major advantage in thin sheet assembly applications of using a low energy, necessary to melt

only the filler wire (Cu alloy with a very low fusion temperature range) reducing at the same time the heating of the base material. The positive consequences are the low degradation of the surface coating (low Zn evaporation) and the low degree of distortion of the components.

Brazing of galvanized thin sheets is essentially carried out using a Dual TIG Torch using mainly the hottest TIG arc area in order to increase the arc stability, driven by the arc energy density (Fig. 11).

But this configuration requires one active part of the electrode to be out of the nozzle, with the risk of air, dust or zinc contamination. In addition, to operate with a short electrode/work piece distance is difficult to ensure a constant and correct positioning of the filler wire. It may be more effective to optimise the plasma configuration in order to enhance the protection of the electrode.

ENTWICKLUNG VON ANWENDUNGEN UND VERFAHREN

Inzwischen hat das Plasmaschweißverfahren seine Effizienz und Zuverlässigkeit nachgewiesen und erfüllt die beschriebenen traditionellen Anwendungsbereiche. Es gilt nun, es an neue Anwendungsmöglichkeiten besonders im Bereich Transport anzupassen, die sich vorwiegend auf Dünoblechanwendungen konzentrieren.

Dünoblechanwendungen

Entwicklung der Kriterien bei Dünoblechanwendungen

Der Fahrzeugbau konzentriert sich auf folgende Aspekte: mechanische Güte der Verbindungen, geringer Verzug, Nahtaussehen wie zum Beispiel Spritzerfreiheit vor dem abschließenden Lackieren. Wir finden einen ähnlichen Ansatz in der Nahrungsmittel- und Pharmaindustrie überwiegend bei austenitischen rostfreien Grundwerkstoffen in Stärken von 1-3 mm. Hierbei wird besonders auf den ästhetischen Aspekt einer glatten Oberfläche, auf Spritzerfreiheit und Sauberkeit vor der Passivierung Wert gelegt.

Wie bereits erwähnt, arbeitet die Automobilindustrie am stärksten mit Dünoblechanwendungen:

- Aluminiumlegierungen für Türen, Abdeckungen und mitunter Achskomponenten
- verzinkte Bleche für die Karosserie (Fügen durch Schweißen und Löten)

Fig.10: Tailored blank application:
5182 material 0.8 mm to 1.6 mm thick. Ws 2.5 m/min



Bild 10: Tailored Blank Anwendung Werkstoff 5182,
0,8 mm bis 1,6 mm - Ws 2,5 m/mn

Fig.11: Plasma Brazing of the galvanized sheet
Oerlikon COPPERFIL CuSi 3



Bild 11: Plasmalöten an galvanisierten
Blechen Oerlikon COPPERFIL CuSi 3

► Zu nennen sind ebenfalls Versuchsbedingungen zur Machbarkeit der Fertigung von "Tailored Blanks" aus Aluminium. (Bild 10).

Bei dieser neuen Anwendung, die von einem US-Unternehmen als Variable Polarity WIG bezeichnet wird, sind folgende Punkte interessant:

- höhere Schweißgeschwindigkeit als beim WIG DC Schweißen unter Helium Schutzgas
- Anwendung von Impulsstrom. Erzielt werden sehr sanfte Nahtübergänge und Flankenverbindungen sowie eine günstige Mikrostruktur für das Tiefziehen

► Eine zweite Möglichkeit in der Dünoblechverarbeitung ist das Löten mit dem großen Vorteil, dass der Energieeintrag zum Schmelzen des Zusatzwerkstoffes niedrig ist (Cu Legierungen weisen einen niedrigen Schmelzpunkt auf). Dadurch wird auch das Vorwärmen des Grundwerkstoffes verringert.

Eine positive Auswirkung ist die geringe

Beeinträchtigung der Beschichtung (geringe Zink-Verdampfung) und geringerer Verzug an den Komponenten.

Das Löten verzinkter Bleche kann mit Dualgas - WIG Brennern durchgeführt werden, wobei die Wirkzone im heißesten Bereich des Lichtbogens liegt, um dessen Stabilität zu erhöhen (Bild 11).

Aber diese Konfiguration macht es erforderlich, dass sich ein aktiver Teil der Elektrode außerhalb der Düse befindet, mit dem damit einhergehenden Risiko der Verunreinigung durch Luft, Staub oder Zink. Außerdem muss mit einem geringen Abstand Werkstück/Elektrode gearbeitet werden. Dies ist schwierig zu handhaben, wenn Zusatzwerkstoffe konstant in der richtigen Position gehalten werden müssen. Eine effektive Plasmakonfiguration bietet den Vorteil eines besseren Schutzes der eingerückten Elektrode.

Evolution of the torch concept

The majority of thin sheet fabrication uses robotics, which requires a specific torch adaptation (oversize, accessibility) see Table 6, and a supplementary axis for the filler wire orientation.

The optimisation of energy density and thus a reduced volume of the molten pool passing through the torch are important factors in process selection: micro-plasma or plasma keyhole low current level?

- microplasma torch improves the energy density (increasing the current level up to 90-100 A) with an efficient cooling of the plasma nozzle
- or plasma, improving the keyhole stability at low current levels: 80-100 A.

In this approach, the torch design has to take into account the welding of different grades of materials

and the capability to support the supplementary energy released by the gas mixes such as ArH₂ or ArHe, which has consequent and strong influence on the morphology of the molten pool.

The plasma nozzle in the plasma torch is a main and active component, which strongly influences the process performance and, following these new applications, the design will move towards new plasma arc conditions, a new laminar plasma gas flow rate and a suitable energy density profile. In this way, a modelling device is a necessary and an efficient support.

Improvement of the shielding efficiency in dynamic conditions

Gas selection:

Improvement of the shielding efficiency is influenced by the correct selection of the gas mix, depending on the material to be welded and the main criteria of the application (soundness, welding speed, distortion, wetting, colour...).

Table 7 gives a summary of the possible selection for a range of materials.

Table 7: Gas selection for a range of materials to be welded

	Plasma		TIG	Back Shielding Wurzelschutz
	Plasma gas - Plasmagas	Annular Gas - Äußeres Gas	Annular Gas - Äußeres Gas	
Carbon steel mild and micro alloyed	Ar (ARCAL 1)	Ar + 5% H ₂ (ARCAL 15)	Ar (ARCAL 1)	Ar (ARCAL 1) Ar + 2.5-5% H ₂ (ARCAL 10 & 15)
	Ar + 2.5% H ₂ (ARCAL 10)	Ar + 2.5-5% H ₂ (ARCAL 10 & 15)	Ar + 5He (ARCAL 31)	
	Ar + 2.5% H ₂ (ARCAL 10)	Ar + 8-20% CO ₂ (ARCAL 21 & ATAL 5A)	ArHe H ₂ (ARCAL 11)	
Austenitic stainless steel	Ar (ARCAL 1)	Ar + 5-10% H ₂ (ARCAL 15 - NOXAL 4)	Ar (ARCAL 1)	N ₂ N ₂ + 5-10% H ₂
	Ar + 2.5% H ₂ (ARCAL 10)	Ar + 5% H ₂ (ARCAL 15)	Ar + 2.5-10% H ₂ (ARCAL 10-15 & NOXAL 4)	
Nickel & Nickel Base alloys	Ar (ARCAL 1)	Ar (ARCAL 1)	Ar (ARCAL 1)	Ar (ARCAL 1)
	Ar + 5-7% H ₂ (ARCAL 15 - NOXAL 4P)	Ar + 5-7% H ₂ (ARCAL 15 - NOXAL 4P)	Ar + 5-7% H ₂ (ARCAL 15 - NOXAL 4P)	
Reactive material Ti Ta Zr	Ar (ARCAL 1)	Ar (ARCAL 1)	Ar (ARCAL 1)	Ar (ARCAL 1)
			Ar + 5 He (ARCAL 31)	
			Ar + 20-50-80% He5He (ARCAL 32-35-37)	
Aluminium & alu alloys	Ar (ARCAL 1)	Ar + 5 He (ARCAL 31)	Ar (ARCAL 1)	Ar (ARCAL 1)
		Ar + 20% He (ARCAL 1)	Ar + 20-50-80% He (ARCAL 32-35-37)	
			He	

Tabelle 7: Gasauswahl nach Werkstoff

Entwicklung des Brennerkonzepts

Der wesentliche Teil des Dünnblechschweißens erfolgt robotergestützt. Dies macht eine spezielle Anpassung des Brenners (Baugröße, Zugänglichkeit), sowie eine zusätzliche Roboterachse für die Ausrichtung des Schweißdrahtes erforderlich.

Wie bereits erwähnt, erfolgen die Optimierung der Energiedichte und die Verringerung des Schweißbadvolumens über den Brenner und

die Verfahrensauswahl: ideal wäre für diese Materialstärken die Möglichkeit des Stichlochschweißens mit Mikroplasma. Dies bedeutet im Strombereich von 90 - 100 A den Einsatz einer sehr effizienten Kühlung der Plasmadüse. Andererseits wäre das Anwenden des herkömmlichen Plasmastichlochverfahrens mit niedrigeren Stromstärken interessant was wiederum eine Stabilisierung des Lichtbogens bei niedrigen Stromstärken erfordert.

Table 6: Processes positioning vs thicknesses (stainless steel) and dedicated torches

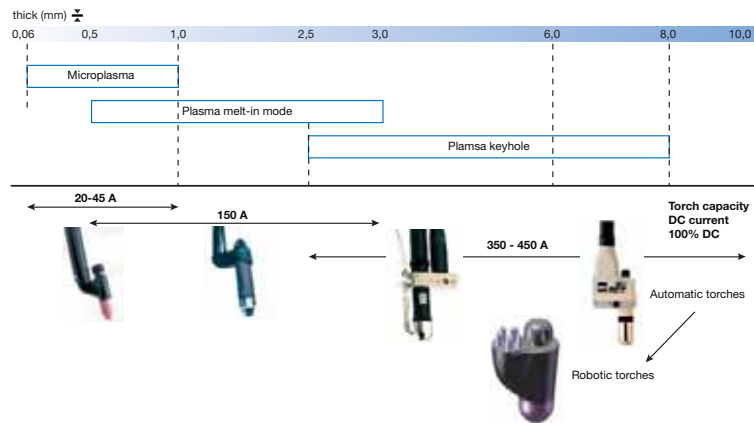


Tabelle 6: Verfahrenspositionierung hinsichtlich Blechdicke und verwendeter Brenner

Der Brenneraufbau muss den Einsatz auf verschiedenen Werkstofftypen berücksichtigen und dementsprechend der erhöhten Wärmebelastung bei der Verwendung von ArH₂ oder ArHe Gasgemischen standhalten.

Verbesserung der Schutzgasabdeckung bei höheren Prozessgeschwindigkeiten

Gasauswahl:

Die Verbesserung der Schutzgasabdeckung erfolgt über die richtige Auswahl der Gasgemische in Abhängigkeit vom zu schweißenden Werkstoff und den Hauptkriterien der Anwendung (Aussehen, Prozessgeschwindigkeit, Verzug, Benetzung, Anlauffarbe...).

Tabelle 7 zeigt eine Zusammenfassung der möglichen Gasarten für verschiedene Werkstoffe.

Beim Plasmaschweißen hat das Plasmagas starken Einfluss auf die Zündeigenschaften des Lichtbogens und die Steuerung der Energiedichte bei der Stabilisierung des Stichloches. Das äußere Schutzgas muss das Plasma und das Schweißbad vor Luft und Verunreinigungen durch die Umgebung schützen.

In Plasma welding, the plasma gas has a strong influence on the arc striking quality, on the keyhole morphology and stability and the annular has to protect the plasma against air and environmental contamination and finally to protect the molten pool.

One example of gas selection driven by the optimization of welding speed is shown for 600 and 625 alloys, by changing only the plasma gas and retaining argon in the annular gas.

With the same conventional plasma torch for the same material the improvement is an increase of between 33%-46% in welding speed with a 5% H₂ addition in an Ar base. Using a more powerful torch (SP7), the benefit is about 66%-73%. At the same time the wetting and colour are clearly improved.

Gas distribution:

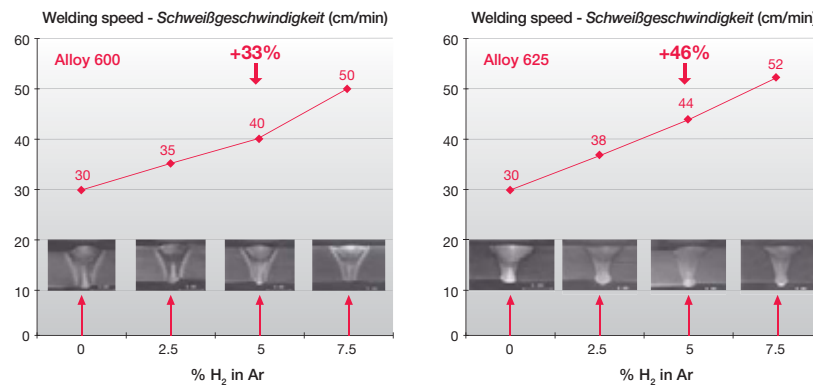
An important development is the combination of high welding speed conditions with a small bead size, to improve the profile, appearance and colour of the bead surface (free of slag inclusions and oxides).

One example (Fig.14) shows the progressive degradation of the surface of the bead in austenitic stainless steel.

The tests have been carried out with the same configuration of the torch (nozzle diameter and profile, same electrode...) in the welding speed range 0.5 to 2 m/min.

Welding speeds between 1 and 2 m/min induce disturbances in the shielding atmosphere and result in air contamination. Consequently, there is a lack of wetting of the molten pool, with some undercut combined with a grey colour. These undesirable features at higher welding speeds, probably require the design of a new gas circuit in the torch, of the plasma nozzle and mainly the annular nozzle. Additionally, gas flow modelling in dynamic conditions would be required for the preliminary definition of the prototype.

Table 8: Influence of the mix composition of the plasma gas on the Ws for 600 and 625



Alloy Legierung	Thick (mm) Stärke (mm)	Annular Gas Ringgas	Plasma Gas Plasmagas	U (V)	I (A)	Wire Speed DV-Geschwindigkeit (cm/min)	Welding Speed Schweißgeschwindigkeit (cm/min)	Heat Input Wärmeeintrag (kJ/cm)
600	6	Ar	Ar	27	200	100	30	10.8
		Ar	Ar + 2.5% H ₂	28.3	200	100	35	9.7
		Ar	Ar + 5% H ₂	28.3	200	100	40	8.5
		Ar	Ar + 7.5% H ₂	28.8	200	100	50	6.9
625	6	Ar	Ar	27	200	100	30	10.8
		Ar	Ar + 2.5% H ₂	28.2	200	100	38	8.9
		Ar	Ar + 5% H ₂	28.6	200	100	44	7.8
		Ar	Ar + 7.5% H ₂	29	200	100	52	6.7

Tabelle 8: Einfluss der Zusammensetzung des Plasmagases auf die maximale Schweißgeschwindigkeit bei Nickbasislegierungen (Serie 600 und 625)

Fig.12: Tests with same torch, adapted nozzle f current and without trailing shield

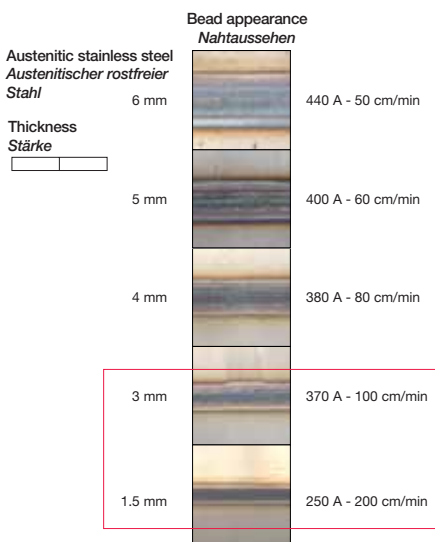


Bild 12: Test mit gleichem Brenner, Schutzgasdüse dem Schweißstrom angepasst

Nachstehend wird ein Beispiel gegeben für die Gasauswahl im Hinblick auf die Optimierung der Schweißgeschwindigkeit bei einlagig geschweißten 600- und 625- Nickelbasislegierungen. Nur der Wasserstoffanteil im Plasmagas wird verändert wobei das äußere Schutzgas stets Argon ist. Es ist festzustellen, dass die elektrischen Parameter annähernd gleich bleiben. Entsprechend wird bei einer Anhebung der Geschwindigkeit die Streckenenergie reduziert.

Mit einem konventionellen Plasma-brenner liegt die Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit (WS) bei 33% - 46% bei Zugabe von 5% H₂ in der Ar-Basis. Bei Einsatz eines stärkeren Brenners (SP7) liegt die Verbesserung bei ca. 66% - 73%. Gleichzeitig haben sich die Benetzung und die Farbe deutlich verbessert.

Bei Einsatz eines stärkeren Brenners (SP7) liegt die Verbesserung bei ca. 66% - 73%. Gleichzeitig haben sich die Benetzung und die Farbe deutlich verbessert.

Gasverteilung:

Ein besonderes Augenmerk gilt bei Lösungen für Hochgeschwindigkeitsschweißen und kleine Nähte der Verbesserung des Nahtaussehens und der Farbe der Nahtoberfläche (keine Schlackeneinschlüsse und Oxide).

Das folgende Beispiel (Bild 14) zeigt die progressive Verschlechterung der Nahtoberfläche bei austenitischem rostfreien Stahl.

Die Tests wurden bei gleicher Brennerkonfiguration (Düsendurchmesser, Profil, gleiche Elektrode) bei einer Schweißgeschwindigkeit von 0,5 bis 2 m/min durchgeführt.

Schweißgeschwindigkeiten oberhalb von 1 m/min führen zu Störungen in der Schutzatmosphäre. Dadurch entstehen Benetzungsfehler des Schweißbads, Einbrandkerben sowie eine Graufärbung. Dieser Mangel an Effizienz bei höheren Schweißgeschwindigkeiten macht höchstwahrscheinlich eine neue Gestaltung des Gaskreislaufs im Brenner, in der Plasmadüse und vor allem in der Ringgasdüse erforderlich.

To increase the PAW performance on thick plates

Leading to the final design of the SP 7 torch, the prototype of the SP 7 was assessed in a variety of severe conditions in pipe manufacturing, welding stainless steel in 7 to 9.5 mm thicknesses.

During this testing campaign, some significant improvements were made using:

- one high H₂% gas mix such as Ar+7%H₂ (NOXAL3---> NOXAL4 from Air Liquide) not compatible with the previous plasma torches (SP6 or equivalent)
- one efficient cooling system for the nozzle and the torch body
- a nozzle seal design to comply with a high current density HF environment, combined with a high integrity pressurised water performance.

The SP7 model has been also modified by CTAS to evaluate the feasibility to weld aluminium alloys in variable polarity.

In parallel, tests performed in 6061 pipe alloys, 11 mm thick in 3G position, gave satisfactory results with the new torch prototype dedicated for variable polarity, Fig.15. Tests performed in Japan at the JWRI demonstrate that in the thicker plate in the 3G position, the upper limit (15mm) is acceptable for the process in a square butt joint configuration.

And it shows the open possibilities of the process for thick plates.

CONCLUSIONS

Two typical and opposite orientations have been taken to support the new potential development of the plasma arc welding process.

Two different methods are possible for the development of thin sheet applications:

- A new investigation of micro-plasma: to maintain a stable arc constricted at high energy densities at low and medium currents >50 -100 A and, with the small size torch, the flexibility to introduce a filler wire in similar conditions as used in the Air Liquide TOPTIG process, for example.
- A new investigation to improve the stability of the plasma keyhole at low current levels: 80-100 A.

Ausblick - Verbesserung des Plasmaschweißens - Leistung bei dicken Blechen

Vor der Vermarktung des SP7 Brenners erfolgte die Stabilisierung des Prototyps unter harten Einsatzbedingungen bei der Rohrherstellung: Serienschweißung rostfreier Stahl, 7 bis 9,5mm Stärke.

Bei dieser Testreihe wurden folgende wesentliche Verbesserungen erzielt:

- Einsatz von Gasgemischen mit hohem H₂ % Anteil wie Ar + 7% H₂ (NOXAL3--> NOXAL4), die mit Vorgängermodellen wegen der erhöhten Wärmebelastung nicht kompatibel waren (SP6 oder andere Wettbewerbsmodelle)
- Ein leistungsfähiges Kühlaggregat für Düse und Brennerkörper
- Abdichtung des Kühlkreislaufes in der Düse für hohe Ströme, HF-Umgebung und Sicherheit bei hohen Kühlwasserdrücken.

Der SP7 Brenner wurde im CTAS modifiziert, um die Machbarkeit des Wechselstromschweißens von Aluminiumlegierungen zu untersuchen. Bei diesem Verfahren kann die Amplitude in der positiven und negativen Halbwellen und das Tastverhältnis frei gewählt werden. Die Schwierigkeit besteht zum einen in der Stabilität des Lichtbogens beim Wechsel der Polarität und zum anderen in der starken Wärmebelastung der Wolframbügel am Pluspol durch den Elektronenbeschuss.

Tests an 6061 Rohrlegierungen in 11 mm und in 3G Position ergaben zufrieden stellende Ergebnisse mit dem neuen Brenner Prototyp für die variable Polarität. Bild 15 und Tests in Japan JWRI zeigen die akzeptable Obergrenze für das Verfahren (15 mm) für die 3G Position bei dicken Blechen bei I-Stoß-Konfiguration auf.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es wurden 2 typische und einander gegenüberstehende Ausrichtungen für Dünnblech und Dickblechanwendungen betrachtet, um neue Entwicklungsmöglichkeiten des Plasmaschweißens aufzuzeigen.

Für die Weiterentwicklung der Dünnblechanwendungen sind folgende Wege zu nennen:

- neue Untersuchungen zum Mikroplasmaverfahren mit dem Ziel einen stabilen Lichtbogen bei hoher Energiedichte im niedrigen bis mittleren Strombereich > 50 -100 A zu ermöglichen. Idealerweise würde in einem kleinen Brenner in kompakter Bauform der Zusatzwerkstoff ähnlich wie beim TOPTIG Verfahren eingebracht.
- andererseits könnten die bestehenden Verfahren verbessert werden, um die Plasmastichlochstabilität im niedrigen Strombereich 80 - 100 A zu gewährleisten.

Table 9: Comparative of the performance of the SP6 and SP7 torches

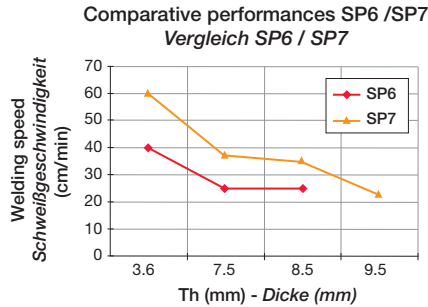
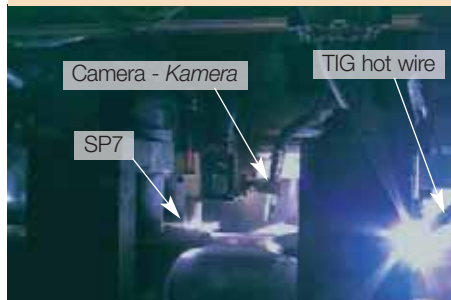


Tabelle 9: Leistungsvergleich SP6 gegenüber SP7

Fig.13: SP7 customer's tests in pipe manufacturing austenitic stainless steel 9.8 mm thick



Build 13: SP7 Kundentest, Rohrherstellung austenitischen rostfreier Stahl, 9,8 mm

Fig.14: SP7 welding advantages for thick plate or tube

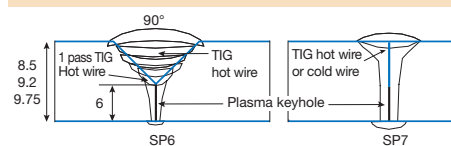


Bild 14: SP7 Vorteile beim Schweißen dicker Bleche oder Rohre

Fig.15: VPPA of 6061 pipe 11mm thick, Wire Oerlikon ALUFL ALI5 (ER 4043) Ø 1.6mm - 450 AC DC power source. Welding current 300 A Wt: 4 ms Pulse 500 HZ Cleaning current 350 A Clt: 1 ms Frequency = 200 Hz

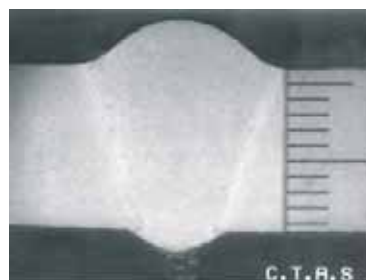


Bild 15: VPPA an 6061 Rohr 11 mm, Oerlikon ALUFL ALI5 d=1,6 mm - 450 AC DC Stromquelle. Schweißstrom 300 A, Pulsfrequenz 500 Hz Reinigungsstrom 350 A, Frequenz 200 Hz

In both cases, all trials carried out with different kinds of equipment demonstrate the necessity to improve significantly the shielding of the molten pool in high speed welding conditions.

A second orientation concerns thick plate applications.

Some very specific feasibility tests carried out with 2 different materials, proved the adaptability of the plasma keyhole welding process in single pass applications in square butt joints. This approach exceeds the theoretical understanding, modelling and visualization of the molten pool and its morphology and monitoring of the process and a complete development of the equipment .

Today the corresponding techniques are available and able to explore the movement of the molten pool in different welding positions, in order to explain and to evaluate the main factors and their respective influence.

In conclusion a break through is considered necessary in terms of the concept and design of a new integrated torch to meet the challenges of the next generation of applications.

In beiden Fällen ergibt sich bei einer Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit die Notwendigkeit, den Schmelzbadsschutz beim Schweißen zu verbessern.

Die zweite Richtung betrifft die Anwendungen bei dicken Blechen.

Spezifische Machbarkeitsuntersuchungen an verschiedenen Werkstoffen haben die Anpassungsfähigkeit des Plasma-stichlochverfahrens beim Schweißen von einlagigen I-Stoß-Verbindungen im Dickenbereich über 10mm ohne Nahtvorbereitung gezeigt. Unterstützende Techniken durch Simulation und Visualisierung des Schmelzbades sowie durch Prozessüberwachung sind heute verfügbar.

Jean Marie FORTAIN - AIR LIQUIDE CTAS - Welding and Cutting Research Center - 95315 Cergy Pontoise - FRANCE

BIBLIOGRAPHY / LITERATURHINWEISE:

[1] Potentialities if the plasma arc as a universal method of welding non ferrous metals stainless and heat resistant steels. By D.G Bykhovski and A.I Danilov - Svar.Proiz 1973
 [2] Les nouvelles possibilités du procédé Plasma en soudage. By P.Demars, J.P Schultz and F.Cury - Soudage et Techniques Connexes - vol 27n°5/6 - Juin 1973
 [3] Utilisation des plasma d'arc en soudage. By J.P Schultz Entropie - Septembre-Octobre 1973.
 [4] Magnetic control of Plasma Arc Welding on the pressure distribution of Plasma and its effect on Key Hole action. By Yoshiaki Arata, Hiroshi MAruo, Yoshinori Hirata, Yasuyuki Horio. Transaction JWRI Vol3.N°2 1974
 [5] Operational envelopes for plasma keyhole welding. By W.Mc Lean, Bsc(Hons), Msc and B.E.Pinfold, BSc (Mech) DAE MWeld - Advances in welding processes 3th International conference 1974
 [6] Energy distribution in Key Hole mode plasma Arc Welds. By M.J Tomsci and C.E Jackson - Welding Journal - March 1974
 [7] Keyhole stability in Plasma Arc Welding. By J.C.Metcalf and M.B.CQuigley - Welding Journal November 1975
 [8] The movement of liquid metal in welding with a penetrating plasma arc. By Yu.Ishchenko V.A Bukarov and V.T.Pishchik - Svar.Proiz 1981
 [9] Le procédé de soudage plasma automatique appliqué en chaudronnerie. By J.P Schultz - Colloque AFIAP4 Paris Octobre 1983
 [10] Variable Polarity Plasma Arc Welding on The Space Shuttle External Tank. By A.C Nunes,J.R, E.O Bayless, JR.,C.S JONES, P.M Munafo, A.P.Biddle and W.A Wilson - Welding Journal Septbr 1984.
 [11] TIG process with Dual shield :intermediate process between TIG and plasma arc welding IIS/IW -868-86. By J.F Schultz - Welding in the world Vol 24 n°11/12 1986
 [12] Principe et applications du soudage automatique par plasma d'arc. By D.Lavigne, P.Van der Have and M.Maksymowicz - Soudage et Techniques Connexes - Juillet/Aout 1986
 [13] High speed Orbital Plasma Keyhole welding of Duplex Stainless steel Pipe. By Hans Hoffmeister, Margun Tystad, Hans O.Knagenhjelm and Siegfried Dietrich - Pipeline Techno

[14] Plasma Arc Key Hole Welding of Aluminium Gas Containers. By Hans Fostervoll, Gisle Rfrvok and Hans Knagenhjelm
 [15] Shielding Gas and Heat Transfert Efficiency in Plasma Arc Welding. By R.Hou, D.M Evans, J.C Mc Lure, A.C Nunes and G.Garcia - Welding Journal October 96
 [16] Hochlegierte Stahlrohre mit 5 mm wanddicke plasmaorbitalgeschweisst. By W.Lorrek, H;Maraun and D.Uhlenbrock - Der Praktiker July 1996
 [17] Multi process orbital welding by computer Brite Euram programme BE-51114-92. By Neil Woodward BEng - Welding and Metal fabrication - Nov/Dec 1996
 [18] Practical experiences in Using new developments of Plasma Arc power sources in Production. By R.P Walduck MPhil, Arc Kinetics Weiterentwicklungen in der Schweisstechnik SLV Erding 23-24 April 1997.
 [19] Soudage plasma avec association de pulsation de gaz. By M.Raguideau et J. Leleu - JNS 5 Paris - November 1997
 [20] Plasma arc welding of aluminium and aluminium alloys. By Fortain J.M and Verna E. - Eurojoin 3 Bern - April 1998
 [21] Arc efficiency of Plasma Arc welding. By D.M Evans, DHuang, J.C Mc CLure and A.C.Nunes Welding Research Supplement - Feb.1998
 [22] Observation of the Keyhole during Plasma arc welding. By Y.M.Zhang and S.B.Zhang Welding Research Supplement - Feb.1999
 [23] Advanced variable-polarity plasma arc welding using the process for welding aluminum tailor-welded blanks. By John Micheli and Chris Pilcher - November 29, 2001
 [24] Plasma Arc Brazing: a low energy joining technique for sheet metal. By U.Draugelates, B.Bouaifi, A.Helmich, B.Ouaisa, J.Bartzsch - Welding journal - March 2002
 [25] InterPulse welding: high frequency pulsed TIG welding technique VBC
 [26] Improve GMAW and GTAW alternating shielding gases. By Young .Chang P.E - Welding Journal - Feb 2006
 [27] The application of constricted TIG and Plasma arc welding to increase productivity. By B.Lucas and D.Bertaso - Eurojoin 6 - Santiago de Compostela - Spain - June 2006



Contact / Kontakte :

Air Liquide Welding France
13, rue d'Épluches
BP 70024 Saint-Ouen l'Aumône
95315 Cergy Pontoise Cedex
Tel. : +33 1 34 21 33 33 - Fax : +33 1 34 21 31 30
Internet: www.oerlikon-welding.com



Founded in 1902, Air Liquide is the world leader in industrial and medical gases and related services. The company has offices in 72 countries and employs a work force of 40 000. Drawing on constantly renewed technologies, Air Liquide develops groundbreaking solutions used in making countless everyday products and in helping to preserve life.