

ZAVARIVANJE PUNJENIM ŽICAMA U BRODOGRADNJI
SCHWEISSEN MIT FÜLLDRAHELEKTRODE IM SCHIFFBAU

H. NIES D. HAUPT, F. MÜLLER¹,

Ključne riječi: punjene žice, brodogradnja

Schlüssel worte: fülldrahelektrode, schiffbau

Sažetak: S aspekta redukcije troškova zavarivanja u brodograđevnoj industriji uvijek treba razmotriti mogućnost primjene modernih produktivnih tehnologija zavarivanja. U ovom dijelu značajno mjesto zauzima primjena punjenih žica zbog velike brzine zavarivanja i količine nataljenog metala npr. u prinudnim položajima zavarivanja. Ovdje će biti razmatrano zavarivanje uz prisustvo troske (rutilna i bazična punjenja) ili bez troske (metalom punjenja). Bešavne pobakrene cjevčice za punjenje garantiraju potpunu zaštitu punjenja od vlage i zahtijevana svojstva žice kao i podobnost obzirom na dimne plinova.

U radu se navode različite punjene žice i njihova primjena u brodogradnji kroz primjere djelomičnih ili potpuno mehaniziranog postupka zavarivanja.

Zusammenfassung: Unter dem Aspekt der Kostenreduzierung versucht die Schiffbauindustrie die fertigungszeiten durch den Einsatz von modernen, leistungsfähigen Schweißtechnologien zu verringern. Hierzu leisten Fülldrahelektroden 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) Fülldrahelektroden unterschieden. Nahtlose, verkupferte Fülldrahelektroden zeichnen sich insbesondere durch absolute Feuchteunempfindlichkeit der Füllung und sehr gute Drahtförderigenschaften aus und sind damit für den rauen Werfteinsatz prädestiniert. In dem Artikel werden die verschiedenen Fülldrahelektroden und ihre Anwendung im Schiffbau anhand von typischen Beispielen für das teil- und vollmechanisierte Schweißen vorgestellt.

¹ Eisenberg



1. 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 Feinkombastähle in der äußerst wirtschaftlichen Einlagen- oder Lage/Gegenlagetechnik, welche aufgrund der hohen Wärmeeinbringung den Einsatz von speziell legierten Fülldrahtelektroden erfordert.

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 Gütewerte 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.

2. 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 Schweißseigenschaften als auch die metallurgischen Eigenschaften je nach Füllpulvertyp günstig beeinflusst. Die besonderen Schweißseigenschaften von Fülldrahtelektroden gegenüber Massivdrahtelektroden sind nicht zuletzt für die hohe Wirtschaftlichkeit des Schweißverfahrens verantwortlich.

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

OERLIKON-Bezeichnung	Schweißverfahren	Schlackencharakteristik	Querschnitt
FLUXOFIL	MAG	<ul style="list-style-type: none"> ➤ rutil ➤ basisch ➤ Metallpulver 	nahtlos
CITOFLEX	MAG	<ul style="list-style-type: none"> ➤ rutil ➤ Metallpulver 	formgeschlossen
FLUXINOX	MAG	<ul style="list-style-type: none"> ➤ rutil 	formgeschlossen
FLUXOREX	EG / ES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ basisch 	nahtlos
FLUXOCORD	UP / FMI	<ul style="list-style-type: none"> ➤ basisch 	nahtlos

Bild 1: Herstellungsart, Füllpulvertypen und Anwendung von Fülldrahtelektroden

Gründe für den Einsatz von Fülldrahtelektroden:

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

2.1 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 Ziehbarkeit 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 Nachtrocknen 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, drahtfreie 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.

2.2 Fülldrahtelektrodentypen

2.2.1 Rutilfülldrahtelektroden

Charakteristische Eigenschaften:

- gute Positionsverschweißbarkeit bedingt durch die Stützwirkung der schnell erstarrenden Schlacke
- daher keine Impulsstromtechnik erforderlich (einfache Prozesseinstellung 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
- max. Wanddicke im abnahmepflichtigen Bereich in der Regel auf 45 mm begrenzt.

Hauptanwendungsgebiete:

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

2.2.2 Basische Fülldrahtelektroden

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 Rißsicherheit.

Hauptanwendungsgebiete:

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

2.2.3 Metallpulverfülldrahtelektroden

Charakteristische Eigenschaften:

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

Hauptanwendungsgebiete:

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

3. Schweißverfahren

3.1 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 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.

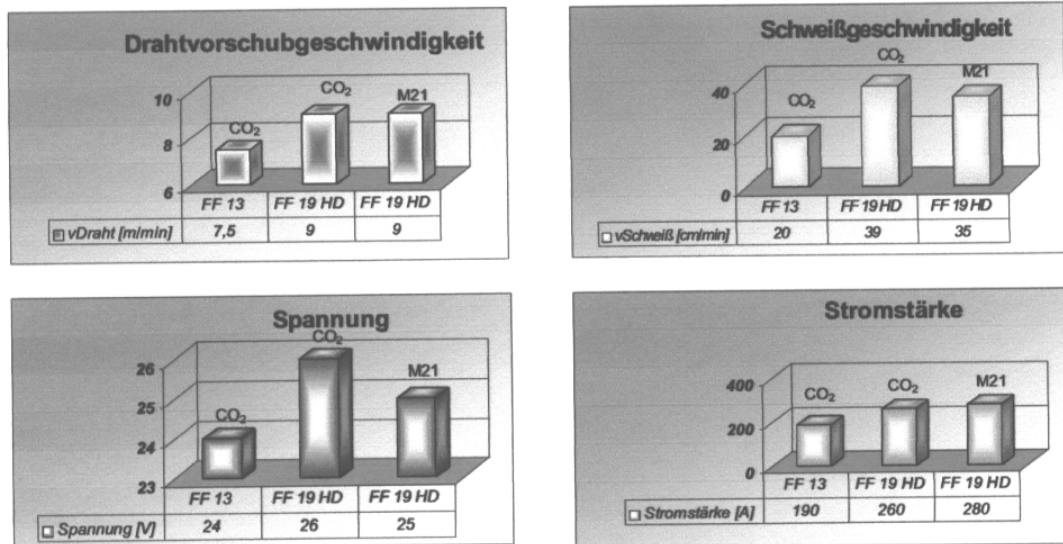


Bild 2: Leistungsdaten von Rutilfülldrahtelektroden beim Kehlnahtschweißen (a = 4 mm) in Steigposition

3.2 Vollmechanisiertes Metallschutzgasschweißen mit Fülldrahtelektrode

Wo immer möglich, wird das Metallschutzgasschweißen 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 Impulslichtbogentechnik 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 Wannenposition mit hoher

Abschmelzleistung und entsprechend hoher Schweißgeschwindigkeit (**Bild 3**) verarbeitet. Aufgrund Ihrer guten Wiederzündigenschaften und des weichen Lichtbogens sind sie hervorragend für den Robotereinsatz geeignet.

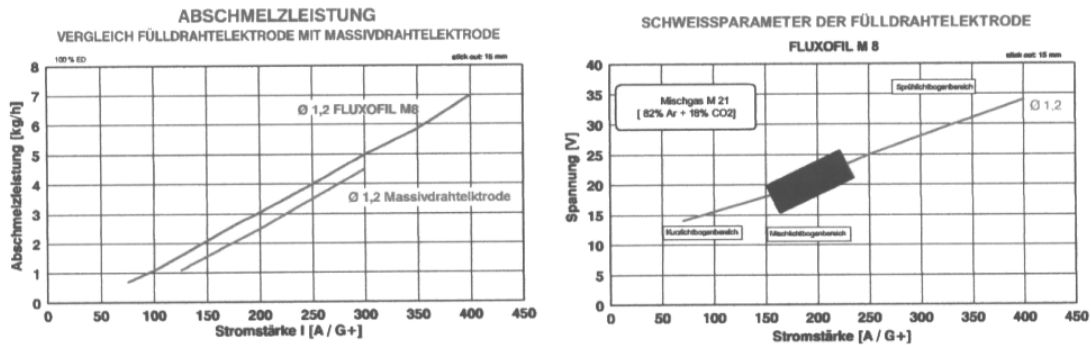


Bild 3: Leistungsdaten eines Metallpulverfülldrahts

3.3 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.

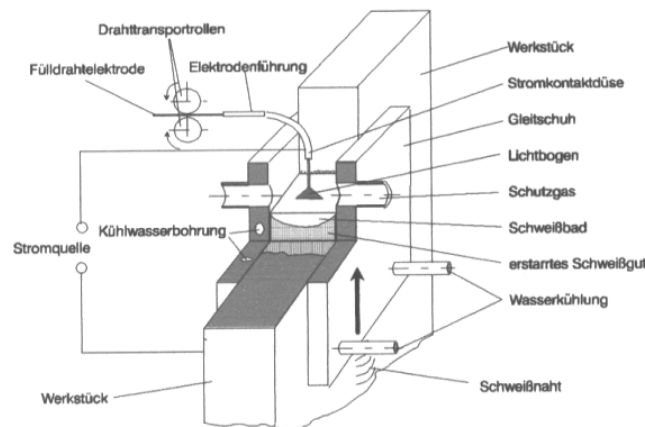


Bild 4: Verfahrensprinzip des Elektrogasschweißens

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, Anzeigeelemente 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 Prozeßsicherheit gegen Schweißfehler betreiben.

3.4 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 oder hydraulisch gehalten werden. Von unten wird ein Pulverkissen aus einem geschmolzenen Schweißpulver 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.

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 mit basischer Füllpulvercharakteristik zum Einsatz. Durch die Mikrolegierung wird trotz der hohen Wärmeeinbringung 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, der 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 Schweißseigenschaften im Mehrdrahtprozeß mit guten Schweißgutzähigkeitswerten verbindet.

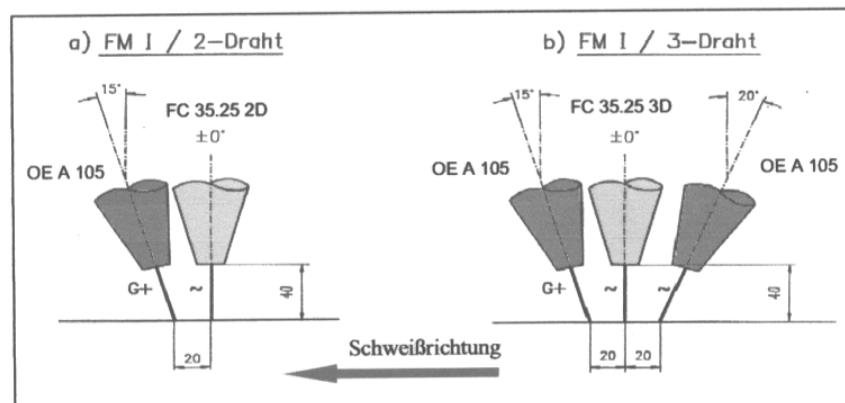


Bild 5: Anordnung der Drahtelektroden und Schweißkopfstellung beim UP-Mehrdrahtschweißen mit dem FMI-Prozeß

3.4.1 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).

Ident.-Nr.	GW	Nahtvorbereitung und Aufbau	Schweißverfahren und Zusatzwerkstoff [Ø 4,0 mm]	I [A]	U [V]	v _s [cm/min]	E [kJ/cm]	L _{ab} [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		FC 35.25	850 G+	32	40	39,8	13,5
3	A		FMI / 2-Draht 1. Kopf OE A 105	950 G+	34	90	43,1	28,5
			2. Kopf FC 35.25–2D	900 ~	36			

Bild 6: Verfahrensspezifische Daten zum einlagigen Einseitenschweißen bei s = 10 bis 15 mm

3.4.2 Lage-Gegenlage-Schweißen

Vergleichbar dem 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.

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

Bild 7: Verfahrensspezifische Daten zum Lage-Gegenlage-Schweißen bei s = 10 bis 20 mm

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

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 19 HD Ni
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 19 HD Ni
4. Endmontage Sektionsstöße ➤ Außenhaut Position steigend ➤ Flachkiel Position überkopf	MAGM MAGC EG MAGM MAGC	FLUXOFIL 19 HD FLUXOFIL 19 HD Ni FLUXOREX EG 35.21 FLUXOFIL 20 FLUXOFIL 19 HD

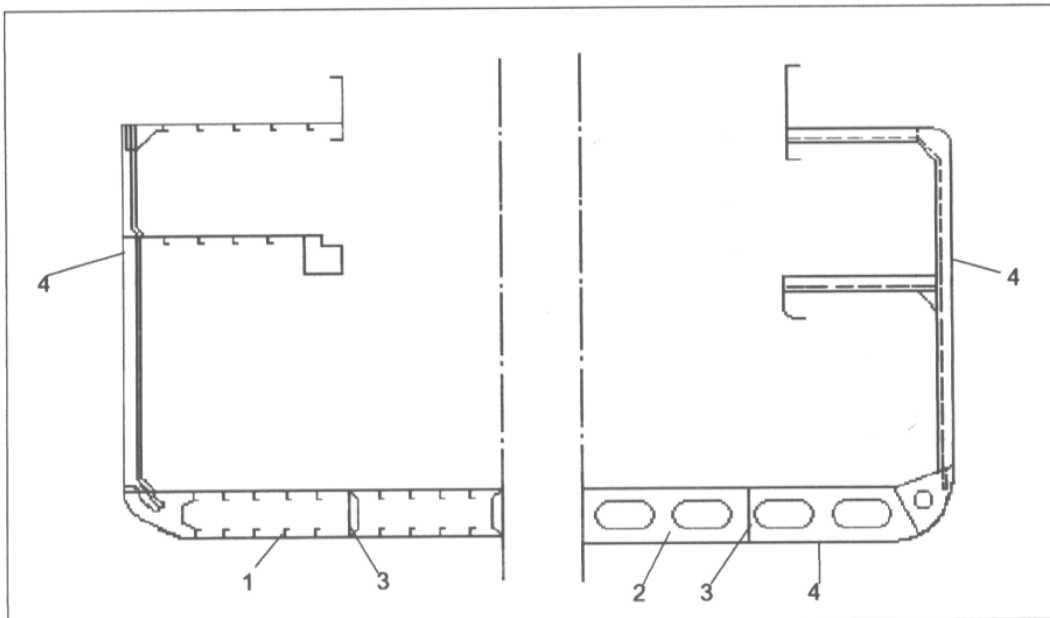


Bild 8: Anwendung von Fülldrahtelektroden im Sektionsbau