

ZAVARIVANJE TANKIH LIMOVA PUNJENIH ŽICAMA POSTUPCIMA U ZAŠTI- TI PLINOVA I EPP POSTUPKOM

SCHUTZGAS- UND UP-SCHWEIßEN MIT FÜLLDRAHTELEKTRODEN IM DÜNNBLECHBEREICH

Erturul ENGINDENIZ¹

Ključne riječi: tanki limovi, punjene žice

Schlüsselworte: dünnblech, fülldrahtelektroden

Sažetak: Na osnovu zahtijeva iz proizvodnje često je bez odgađanja potrebno zavariti tanke limove . Tako je bio zahtjev iz brodogradnje za zavarivanjem tankih limova već od 3 mm postupcima u zaštiti plinova i EPP-om. Pri tome je zahtijevana veličina kutnog spoja od 3mm. Zazor u vertikalnom spoju za zavarivanje mogao se tolerirati do vrijednosti od 3.5mm. U danim okolnostima zavarivanje u vertikalnom položaju prema dolje je predviđeno u kalkulaciji. Majstorska iskustva govore da ovaj slučaj nije jednostavno zavariti u zaštiti plinova. Na osnovu ovih zahtijeva proizvođač dodatnog materijala ponudio je punjene žice za MAG i EPP postupak zavarivanja kako bi se brzo riješio ovaj problem. U ovom radu prikazano je nekoliko ponuđenih varijanti.

Zusammenfassung: Aus der industriellen Fertigung wird in zunehmendem Maße die Anforderung gestellt, Dünnbleche verzugsarm zu schweißen. Speziell im Schiffbau ist ein steigender Bedarf zu beobachten, Blechdicken schon ab 3,0mm aufwärts unter Einsatz des Schutzgas- und Unterpulver-Schweißens zu verarbeiten. Dabei wird im Bereich der Kehlnähte ein a-Maß mit ca.3,0mm vorgeschrieben. Bei Zwangslagenschweißungen in senkrechter Position werden Kehlnahtverbindungen auch mit 3,5mm toleriert. Um den Verzug so gering wie möglich zu halten, ist es teilweise erforderlich, in senkrechter Position die Fallnaht ins Kalkül zu ziehen. Der Fachmann weiß jedoch, dass diese Arbeitsweise im Schutzgasprozess mit gewissen Problemen behaftet ist. Vor diesem Hintergrund sind die Schweißzusatzwerkstoffhersteller bestrebt, geeignete Fülldrahtelektroden und MAG- sowie UP-Technologien zu entwickeln, damit die Schweißung im Dünnblechbereich verzugsarm ermöglicht wird. In diesem Beitrag werden dazu einige Varianten vorgestellt.

¹ Drahtzug Stein wire&welding, Altleiningen/Germany

1. ZUSAMMENFASSUNG

Aus der industriellen Fertigung wird in zunehmendem Maße die Anforderung gestellt, Dünnbleche verzugsarm zu schweißen. Speziell im Schiffbau ist ein steigender Bedarf zu beobachten, Blechdicken schon ab 3,0mm aufwärts unter Einsatz des Schutzgas- und Unterpulver-Schweißens zu verarbeiten. Dabei wird im Bereich der Kehlnähte ein a-Maß mit ca.3,0mm vorgeschrieben. Bei Zwangslagenschweißungen in senkrechter Position werden Kehlnahtverbindungen auch mit 3,5mm toleriert. Um den Verzug so gering wie möglich zu halten, ist es teilweise erforderlich, in senkrechter Position die Fallnaht ins Kalkül zu ziehen. Der Fachmann weiß jedoch, dass diese Arbeitsweise im Schutzgasprozess mit gewissen Problemen behaftet ist.

Vor diesem Hintergrund sind die Schweißzusatzwerkstoffhersteller bestrebt, geeignete Fülldrahtelektroden und MAG- sowie UP-Technologien zu entwickeln, damit die Schweißung im Dünnblechbereich verzugsarm ermöglicht wird. In diesem Beitrag werden dazu einige Varianten vorgestellt.

2. DEFINITION DES DÜNNBLECHBEREICHES UND AUSWAHLKRITERIEN DER FÜGEVERFAHREN

Die Präzisierung der Blechdicke richtet sich nach der Industriebranche und ist in den meisten Fällen konstruktionsabhängig. Während 5mm Wanddicke im Handelsschiffbau zum Dünnblech zählt, spricht der Fahrzeugbau von dicken Blechen. Im Apparate- und Druckbehälterbau ist eine Materialstärke von 15mm durchaus relativ dünn. Der Militärschiffbau betrachtet 3mm als untere Grenze bei der Auslegung von Sonderkonstruktionen im Überseebereich (Korvetten).

Da der Geleitschutz in jüngster Zeit aufgrund der weltpolitischen Lage im Hinblick auf die Militärtransporte ungeheuer an Bedeutung gewonnen hat, kann sich der europäische Sonderschiffbau an der positiven Entwicklung der Marktlage erfreuen. In diesem Bericht werden Wanddicken zwischen 3mm und 8mm als Dünnblech angesehen, was der gängigen Praxis hauptsächlich im Schiffbau entspricht.

Ob bei den Aufbauten im Handelsschiffbau (incl. Hotelschiffe) oder in der Fertigung von Militäröbekten hat die Anforderung an den niedrigsten Verzug die höchste Priorität. Maßhaltigkeit und Toleranzen bilden dabei neben dem Verzug in der Auswahl der geeigneten Fügevariante die wichtigste Kenngröße.

Weitere Kriterien lassen sich wie folgt auflisten:

- Schweißposition
- Schweißen mit oder ohne Badsicherung
- Schweißen mit oder ohne Zusatz
- Einbrandverhältnisse
- Nahtform; (Kehlnaht, Stumpfnah, Überlappnaht)
- Nahtaussehen, (Spritzer, Kerbwirkung)
- Dichtigkeit, Röntgensicherheit
- Bauteilgeometrie, Zugänglichkeit
- Bauteilanzahl, Nahtlänge, Mechanisierbarkeit
- Grundwerkstoffsorte
- Betriebliche Verfügbarkeit
- Werkstoffkennwerte

Ausgehend von diesen Überlegungen findet der Betrachter eine Vielzahl von Schweißverfahren, die für den Einsatz im Dünnblechbereich in Betracht kommen. Diese kann man ohne Anspruch auf Vollständigkeit folgendermaßen zusammenstellen:

- Laserschweißen
- Elektronenstrahlschweißen
- Diffusionsschweißen
- Punktschweißen
- Buckelschweißen
- Rollnahtschweißen
- Plasma- und Mikroplasma-schweißen
- WIG-Schweißen / Kalt-, Heißdraht
- EH-Schweißen mit Stabelektroden
- MIG- MAG-M-Schweißen mit oder ohne Impuls
- MAG-C-Schweißen
- Unterpulver-Schweißen

Der Aufbau einer optimalen Fertigung ist nicht nur bei ausgeprägter Investitionsbereitschaft realisierbar. Die Modifikation der Schweißverfahren und Weiterentwicklung der Schweißzusätze ermöglichen ebenso effiziente Produktionslösungen mit erheblich weniger Kostenaufwand. Aus dieser Überlegung heraus fanden bei der vorliegenden Arbeit die in der obigen Aufzählung zum Schluss erwähnten MAG- und UP- Varianten mit Fülldrahtelektroden eine besondere Berücksichtigung

3. EIGENSCHAFTEN DER SCHUTZGAS-FÜLLDRAHTELEKTRODEN

Es gibt auf dem Markt sehr viele gefüllte Zusatzwerkstoffe, die jedoch bei näherer Betrachtung gravierende Unterschiede aufweisen. Bild 1 zeigt einige Beispiele von Querschliffen marktüblicher Fülldrahtelektroden. Gemäß dem DVS-Merkblatt 0941 sind sie dem Aufbau nach in zwei Hauptgruppen einzuteilen [1]:

- Nahtlose Fülldrahtelektroden (MEGAFIL[®]-System)
- Formgeschlossene Fülldrahtelektroden

Aufgrund des geschlossenen Drahtmantels weisen die nahtlosen Typen gegenüber den Falzdrähten folgende Vorteile auf [2]:

- unempfindlich gegen Feuchtigkeitsaufnahme
- auch nach langer Lagerung Rücktrocknen nicht erforderlich
- niedrige HD-Werte
- verkupferte Oberfläche, daher besserer Stromübergang
- keine Torsion, kein Drall, stabile Drahtförderung
- weniger Kontaktrohrverschleiß

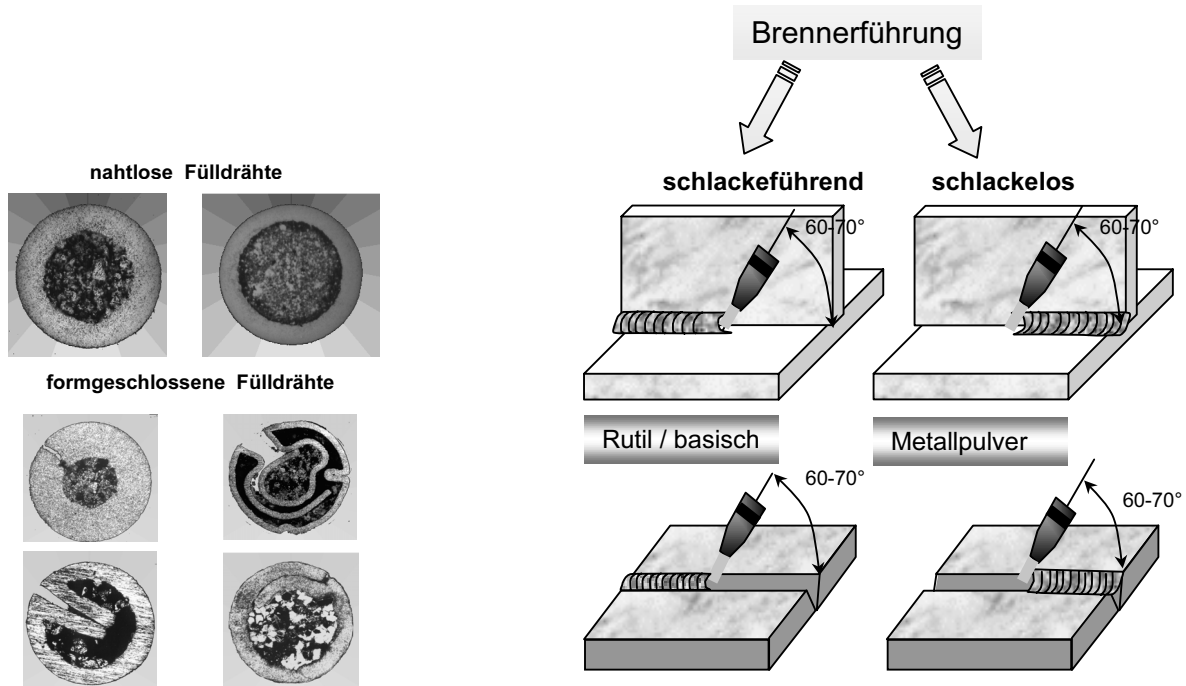


Bild 1. Querschliffe von Fülldrähten

Bild 2. Arbeitstechniken und Füllungstypen

Allgemein sind für den Fülldrahteinsatz folgende Gründe zu nennen:

- Sichere Flankenerfassung, unempfindlich gegen Bindefehler
- Gute Benetzung, kerbfreie Übergänge, glatte Oberfläche
- Hohe Rissicherheit
- Spritzerarmer Tropfenübergang
- Hohe Prozessstabilität
- Röntgensichere Nähte
- Einsatzmöglichkeit von Mikrolegierungselementen
- Gute Zwangslageneignung
- Wirtschaftliche Fertigung

Das Füllpulver besteht in der Regel aus mehreren Komponenten und enthält u.a. Lichtbogenstabilisatoren zur Erzielung einer hohen Prozessstabilität, Legierungselemente zur Nutzung der Metallurgie sowie z.T. Mikrolegierungselemente zur Verbesserung der Güteeigenschaften des Schweißgutes durch den Keimbildungseffekt. Letztere verleihen dem Schweißgut ein feinkörniges Gefüge.

Gegenwärtig stehen Fülldrahtelektroden mit und ohne Schlacke zur Verfügung. Die schlackeführenden Typen enthalten Rutil- oder basische Bestandteile und sind wegen der Gefahr der Schlackeneinschlüsse wie die Stabelektroden mit leicht schleppender Brennerstellung zu verarbeiten (Bild 2.).

Die Schlackenbildner, insbesondere basische Bestandteile beeinflussen die mechanischen Gütewerte positiv. Sie setzen Bindefehler- und Porengefahr auf ein Minimum herab. Somit stellen die schlackeführenden Fülldrahtelektroden in der schweißtechnischen Beurteilung hinsichtlich der praktischen Anwendungsfälle eine Alternative zur Stabelektrode dar. Ein wesentlicher Vorteil der Rutiltypen mit schnellerstarrerender Schlacke bes-

teht darin, dass sie aufgrund der hervorragenden Modellierfähigkeit beim Zwangslagenschweißen vor allem in der steigenden Position sehr wirtschaftlich eingesetzt werden können.

Die jüngste erfolgversprechende Entwicklung auf dem Fülldrahtsektor betrifft zweifellos die schlackelosen Metallpulver-Fülldrahtelektroden, welche als Gegentypen zu den Massivdrahtelektroden zu bewerten sind. Trotz fehlender Schlacke zeigen diese Typen die fülldrahtspezifischen Vorteile im Hinblick auf die Nahtqualität. Eine Ausnahme bildet die Porenanfälligkeit bei zu großem Kontaktrohrabstand. Unter dem Aspekt absolut sicherer Wiederzündfähigkeit und des nahezu spritzerfreien Prozessverhaltens war die Entwicklung dieser Drähte ursprünglich für den Robotereinsatz vorgesehen. Ein weiterer Vorteil gegenüber den schlackeführenden Fülldrahtelektroden ergibt sich in diesem Zusammenhang bei den Mehrlagenschweißungen, da hier die Zwischennahtreinigung entfällt.

Die Grundlagenuntersuchungen haben gezeigt, dass die Metallpulver-Fülldrahtelektroden unter dem Schutzgas M 21 drei Lichtbogenbereiche Kurz - Misch- und Sprühlichtbogen aufweisen. Die erstaunlich geringe Spritzerbildung im Kurzlichtbogenbereich eröffnet dem Draht auch bei manuellem Einsatz universelle Anwendungsmöglichkeiten. Dies gilt insbesondere für die gute Spaltüberbrückbarkeit (Wurzelschweißen) und für das Schweißen in Zwangslagen. Die Brennerstellung ist ähnlich der beim Schweißen mit Massivdrahtelektroden d.h., sie ist leicht stechend oder neutral (Bild 2.).

Die für den vorliegenden Bericht verwendeten Fülldrähte stammen ausschließlich aus der Reihe der nahtlosen Typen.

4. BEISPIELE ZUM MAG-SCHWEIßEN

Wie bereits erwähnt, kann die Anwendung der Fallnahttechnik an senkrechter Wand zur Minimierung des Verzugs in Betracht gezogen werden. Der Fachmann weiß jedoch, dass diese Arbeitsweise im Schutzgasprozess mit gewissen Problemen behaftet ist. Man kann beispielsweise hierbei die Bindefehlergefahr nicht ausschließen. Diese Arbeitsweise verlangt vom Schweißer ausgezeichnete handwerkliche Fähigkeiten und eine exzellente Brennerführung. Grundvoraussetzung ist dafür die einwandfreie Einstellung der Schweißparameter und totale Kontrolle des Schweißprozesses. Im Falle der Kehlnaht besteht außerdem die Schwierigkeit, das a-Maß zwischen 2,8mm und 3,5mm zu erzeugen.

Aus dieser Überlegung heraus sind die Schweißzusatzwerkstoffhersteller bestrebt, durch die Entwicklung von neuen Fülldrahtelektroden die Schweißung in senkrecht steigender Ausführung zu ermöglichen. Im Hause Stein wurden eigens zu diesem Zweck neue Drähte und Technologien entwickelt und erprobt. Im Einzelnen erfolgten Schweißungen mit 1,0 mm bis 1,2 mm dicken Fülldrähten im Schutzgasverfahren für die Erstellung sowohl der Kehl- als auch der Stumpfnähte. Ein besonderes Augenmerk galt dabei der Verwendung von Pluspol, um das Handling in den Betrieben zu erleichtern. Grundsätzlich wurden selbstverständlich auch vergleichende Untersuchungen zwischen Minus- und Pluspol durchgeführt.

In Bild 3. ist ein solches Beispiel anhand der Kehlnaht an 4mm dicken Blechen wiedergegeben. Die Schweißung erfolgte mit einem Rutillfülldraht in Abm. 1,0mm, dessen Schlacke bezüglich der Menge und Erstarrungseigenschaften modifiziert werden musste. Diese Maßnahme war erforderlich, um das Schweißen in der PF-Position mit erhöhter Stützwirkung und hoher Geschwindigkeit ohne Pendelung zu ermöglichen. Erreicht wurde ein a-Maß von 3,5mm. Bemerkenswert ist die verhältnismäßig hohe Schweißgeschwindigkeit von

27,6cm/min, die in der Regel für PB und PA durchaus als üblich gilt. Die Naht ist frei von Schweißfehlern, der Scheitelpunkt wurde sicher erfasst. Die Untersuchungen beziehen sich auf alle Schweißpositionen, die im Vortrag im Einzelnen behandelt werden.

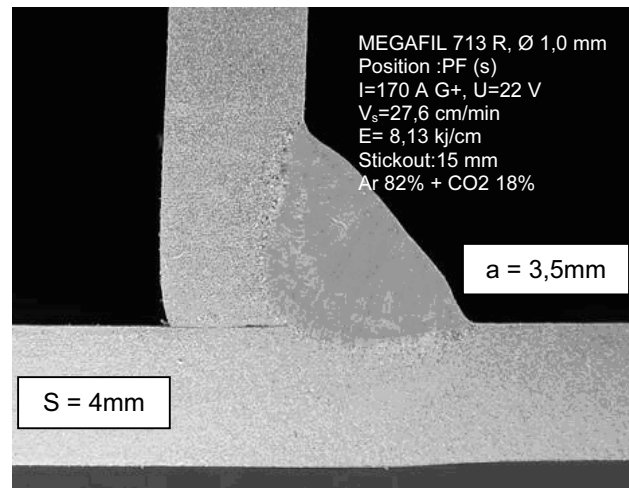


Bild 3. Kehlnahtverbindung an 4mm dicken Blechen, erstellt in der PF-Position

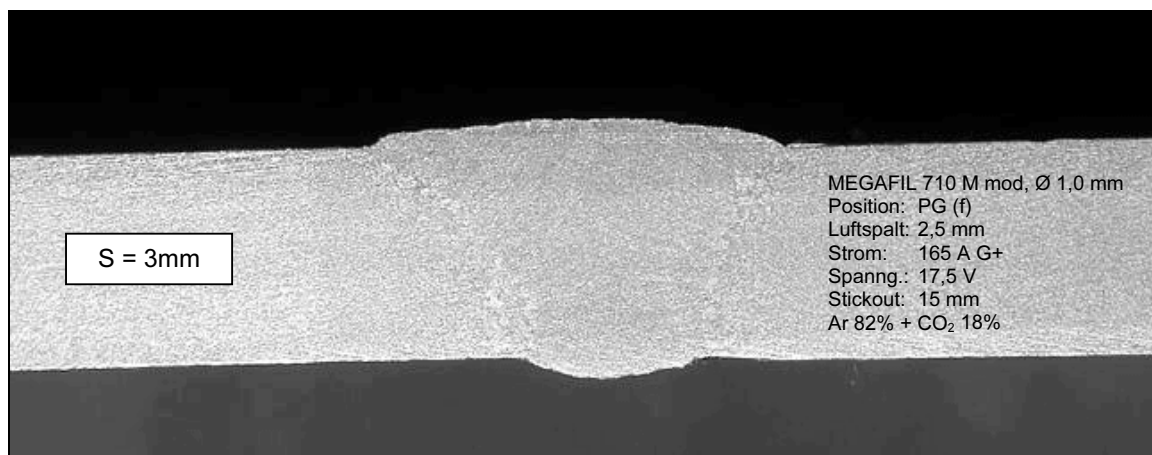


Bild 4. Makroschliff einer in PG-Position ausgeführten Einlagenschweißung

In Bild 4 ist die Einlagenschweißung einer I-Naht zu sehen, welche ohne Badsicherung in fallender Position erstellt wurde. Zur Anwendung kam ein Metallpulver Fülldraht ohne Schlacke in Abm. 1,0mm. Je nach Anforderung und in Abhängigkeit von der Blechdicke, wurden ähnliche Schweißungen auch auf keramischer Badsicherung durchgeführt und ausgewertet, die ebenfalls im Vortrag näher erläutert werden.

5. WARUM FÜLLDRAHTELEKTRODEN FÜR DAS UP-SCHWEIßEN?

Auf den ersten Blick macht die beim UP-Schweißen zwangsläufig entstehende Schlacke die Verwendung der Fülldrahtelektroden überflüssig, da sie, bedingt durch den aufwendigeren

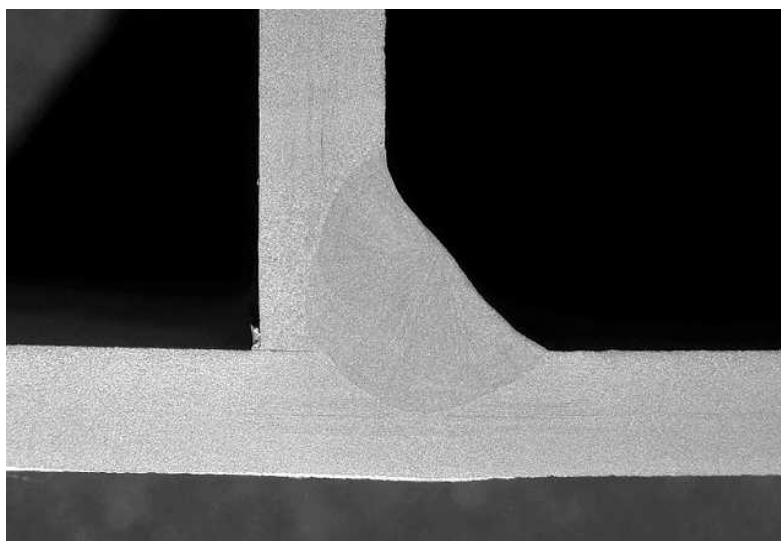
Fertigungsprozess, zumindest im niedriglegierten Bereich gegenüber den Massivdrahtelektroden teurer sind. Die Gründe für die Existenzberechtigung der UP-Fülldrähte sind vorrangig in der Qualität zu suchen. Die Möglichkeit, das Füllpulver in seiner chemischen Zusammensetzung auf die gestellten Anforderungen abzustimmen, eröffnet der UP-Fülldrahttechnologie unbegrenzte Anwendungsgebiete [3]. Als Beispiel sei hier genannt, dass die optimalen Sauerstoffgehalte des Schweißgutes um 300 ppm bezüglich der Kerbschlagarbeitswerte unabhängig vom Schweißpulver exakt gesteuert werden können. Des Weiteren kann jede technisch relevante Legierung in kleinen Fertigungseinheiten produziert werden. Gegenwärtig existieren über 50 verschiedene UP-Fülldrahtsorten.

Neben den konventionellen Typen für das Mehrlagenschweißen kommt insbesondere den mikrolegierten Fülldrahtelektroden eine wichtige Rolle zu. Selbst in Einlagen- und Lage-Gegenlage-Schweißungen wird auch mit mehreren Drähten eine qualitativ hochwertige Naht erstellt. Dabei wird eine ausreichende Kerbschlagarbeit trotz extrem hoher Streckenenergie bis - 60 °C im Schweißzustand gewährleistet, was mit herkömmlichen Massivdrahtelektroden nicht realisierbar wäre. Erreicht wird dies dadurch, dass während der Erstarrungsphase die Bildung von voreutektoidem Ferrit durch den Keimbildungseffekt der Mikrolegierungen unterdrückt wird. Der Austenit wandelt sich in einen sehr feinkörnigen Ferrit (acicular ferrite) um. Diese Gefügestruktur verleiht dem Schweißgut auch ohne Umkörnen seine hohe Zähigkeit.

Die z. T. in der Füllung befindliche Schlacke beeinflusst die Tropfenreaktion positiv. Schließlich sind unter Einsatz von Fülldrahtelektroden bei vergleichbaren Arbeitsbedingungen, aufgrund des besonderen Benetzungsvermögens und des Abschmelzverhaltens sowie der größeren -leistung, wesentlich höhere Schweißgeschwindigkeiten ohne Poren, auch an geprimerten Blechen, realisierbar.

6. BEISPIELE ZUM UP-SCHWEIßEN

Auch hierbei wurden Schweißverbindungen als Kehl- und Stumpfnähte ausgeführt. Zum Einsatz gelangten Drähte mit den Abmessungen von 1,2 mm bis 4,0 mm Ø. In Bild 5 erkennt man deutlich, dass die Einbrandverhältnisse denen des MAG-Schweißens erwartungsgemäß



deutlich überlegen sind. Geschweißt wurde in diesem Beispiel mit 5,3kJ/cm, d.h. in Bezug auf den Verzug ein äußerst günstiger Wert.

Bild 5: Makroschliff einer UP-Kehlnaht

Ausgehend von der Blechdicke würde man hier das Schutzgasschweißen bevorzugen. Die Betriebssicherheit einerseits und die Verfügbarkeit andererseits lassen jedoch in der Produktion die Entscheidung

zugunsten des UP-Schweißens fallen. Dies gilt insbesondere im Falle der I-Nahtverbindung, wo der Vorteil des Fülldrahtes hinsichtlich der Spaltüberbrückbarkeit signifikant zur Geltung

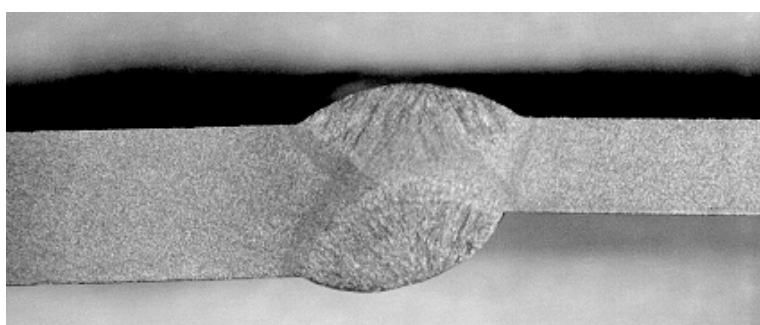
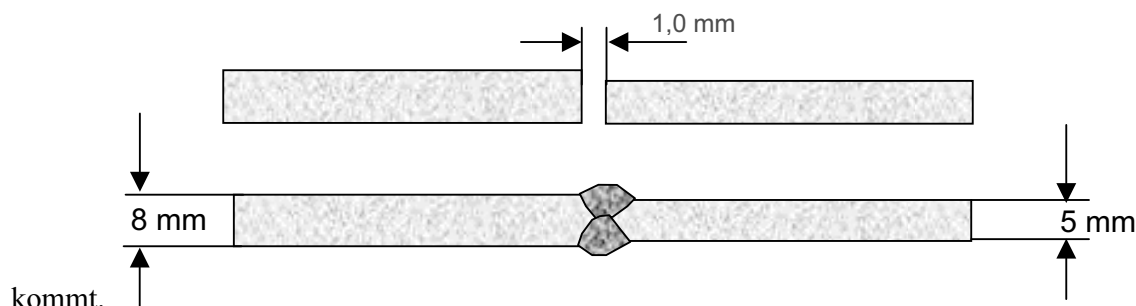
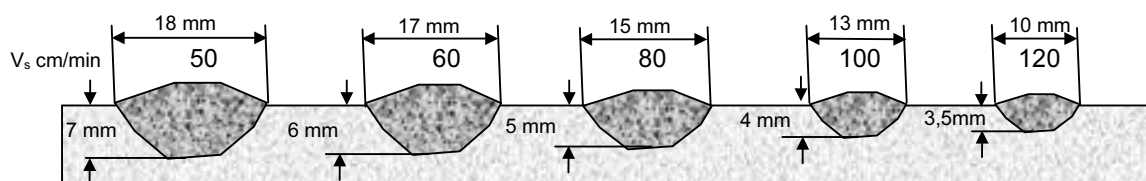


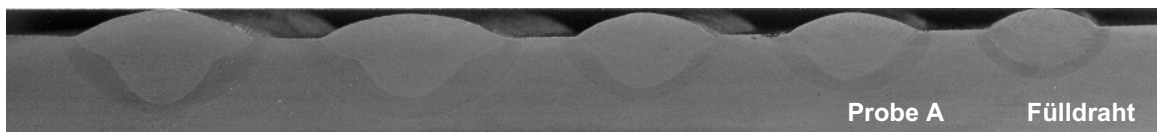
Bild 6. Makroschliff einer UP-Lage-Gegenlage-Schweißung mit unterschiedlichen Blechdicken

Die Schweißparameter der in Bild 6. gezeigten UP-Verbindung lauten wie folgt:

Fülldraht	TOPCORE 731 B		1.Lage	2.Lage
		Strom AC [A]	400	500
		Spannung [V]	28	28
Abmessung	Ø 4,0mm	Geschwindigkeit cm/min	80	80
Schweißpulver	ST65 M	Streckenenergie kJ/cm	8,4	9,4
Stickout mm	35mm	Schweißposition	PA	
GW (Dillingen)	S 235 JR, s=5 / 8 mm	Badsicherung	keine	

Diese Verbindung entstand bei einem Spalt von 1mm ohne Badsicherung. Unter den gezeigten Bedingungen wäre die Ausführung der Schweißung mit 4mm dicken Massivdrähten wegen der Durchbruchgefahr nicht möglich. Wie im Schutzgasprozess besitzt der UP-Fülldrahtlichtbogen eine größere Streuung am Fußpunkt. Dadurch ist hier die Energiekonzentration weniger ausgeprägt. Diese Charakteristik führt dazu, dass die UP-Fülldrahttrauben etwas breiter und flacher ausfallen.





Probe A	TOPCORE 731 B	Strom AC [A]	600
Probe B	SDA S2Mo	Spannung [V]	30
Abmessung	Ø 4,0mm	Geschwindigkeit cm/min	50 bis 120
Schweißpulver	ST65 M	Streckenenergie kJ/cm	9 bis 21,6
Stickout mm	35mm	Schweißposition	PA

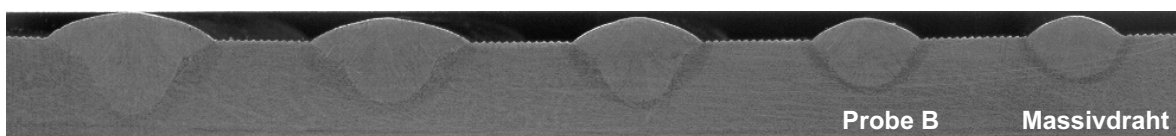
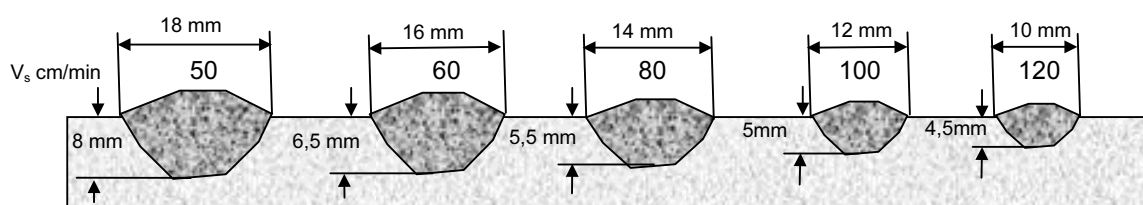
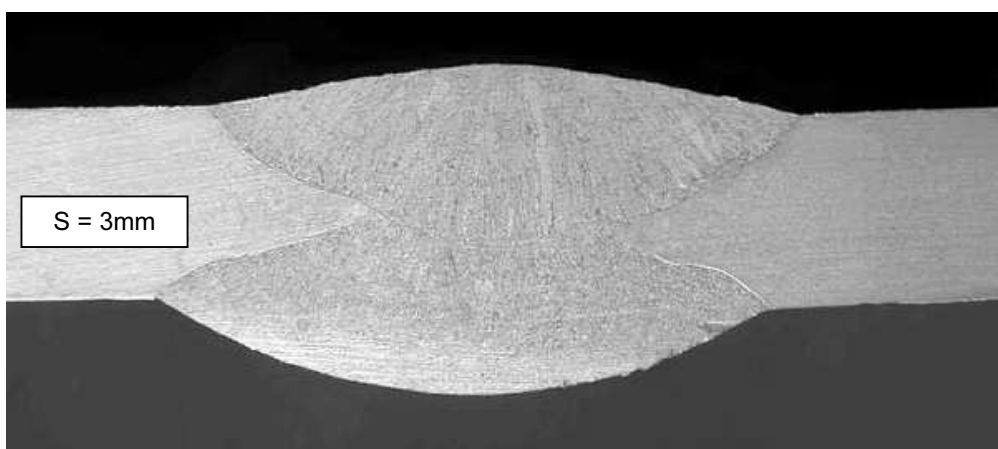


Bild 7. Vergleich der UP-Einbrandformen bei Füll- und Massivdrahtschweißungen

Der Vergleich der in Bild 7 abgebildeten Makro-Querschliffe stellt diesen Zusammenhang deutlich unter Beweis. Alle Blindraupen wurden mit exakt gleichen Parametern erzeugt. Während die Strom- und Spannungswerte konstant waren, wurde die Schweißgeschwindigkeit zwischen 50 und 120cm/min variiert. In allen Geschwindigkeitsbereichen zeigen die Fülldrahtnähte folgerichtig im Schnitt 1mm weniger Einbrandtiefe. Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurden noch dünnere Bleche,



Fülldraht	TOPCORE 731 B		1.Lage	2.Lage
		Strom AC [A] Spannung [V]	310 27,5	320 28
Abmessung	Ø 2,4mm	Geschwindigkeit	100	110
Schweißpulver	ST65 M	Streckenenergie kJ/cm	5,11	4,88
Stickout mm	20mm	Schweißposition	PA	
GW	EH 36, s= 3 mm	Badsicherung	keine	

Bild 8. Makroschliff einer UP-Lage-Gegenlage-Schweißung

nämlich mit $s = 3\text{mm}$ in Lage-Gegenlage geschweißt. Wie in Bild 8 angegeben fiel die Auswahl der Drahtabmessung auf 2,4mm. Die Schweißung erfolgte im I-Stoß ohne Spalt. Auch diese Aufnahme zeigt deutlich, dass der UP-Fülldrahtprozeß im Dünnblechbereich seine Berechtigung hat und erfolgreich eingesetzt werden kann.

7. LITERATUR

1. Engindeniz, E.: Soudage MAG avec fil fourre, Technika 22/1995 Zürich
2. Engindeniz, E.: MAG-Orbitalschweißen mit gasgeschützten Fülldrahtelektroden, DVS-Berichte, Band 170, Düsseldorf 1995, S. 57-61, Große Schweißtechnische Tagung 1995 in Dresden
3. Engindeniz, E.: UP-Schweißen mit Fülldrahtelektroden –Technologie, Wirtschaftlichkeit-Jahrbuch der Schweißtechnik 2000, S.167-178, DVS-Verlag, Düsseldorf 2000