SLV Duisburg
Niederlassung der GSImbH

Name der Forschungsstelle

13 784

AiF-Vorhaben-Nr.

01.03.04 — 28.02.07

Bewilligungszeitraum

Zwischenbericht für den Zeitraum : 01.04.05 — 31.03.06

(Forschungsstelle 1 von 1)

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWA über die

AiF
Otto von Guericke

geförderten IGF-Forschungsvorhaben

[X] Normalverfahren

[ ] Fördervariante ZUTECH

Forschungsthema :

Einsatz von Flachdrahtelektroden beim voll-
mechanisierten MSG-Schweißen von höherfesten
Feinkornbaustählen

Für ein ZUTECH-Vorhaben sind folgende zusätzliche Angaben zu machen:

Der fortgeschriebene Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

[ ] ist beigefügt

[ ] liegt bereits vor

[ ] wird fristgerecht nachgereicht

Duisburg, März 2006-Kn

Ort, Datum

Unterschrift des Projektleiters

3.3 Vorläufige Ergebnisse

3.3.1 Versuche an Kehlnähten

Die nachfolgenden Untersuchungen erfolgten an Kehlnähten, Werkstoff S355. Dabei wurde, falls nicht anders genannt, in PA-Position sowohl in den Betriebsarten Standard und Impuls geschweißt. Als Schweißgeschwindigkeiten wurden 0,7m/min und 1,1m/min bei in der Regel 15°-stechender Brennerstellung erprobt. Dabei wurden ausschließlich Massivdrähte (Flach- und Runddrähte) verwendet. Die Bewertung der Nahtgeometrien erfolgte nach EN ISO 5817, Bewertungsgruppe B.

3.3.1.1 Vergleich von Flach- und Runddraht an Kehlnähten

Die bisherigen Erfahrungen zeigten, das sich das Einbrandverhalten der eingesetzten Flachdrähte (4x0,5mm) nur schwer mit Literaturangaben von Runddrähten (D=1,6mm) vergleichen ließ. Aus diesem Grund erfolgten in Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss (PBA) vergleichende Versuche mit entsprechenden Runddrähten. Dabei wurden für die beiden Betriebsarten Standard und Impuls vergleichende Versuchsreihen jeweils mit einer Schweißgeschwindigkeit von 0,7m/min als auch mit einer höheren Schweißgeschwindigkeit von 1,1m/min in PA-Position gefahren. Die Flachdrahtanstellung erfolgte längs. Als Schutzgas wurde das auf Vorschlag des PBA hinzugenommene 3-Komponenten-Gas 5%O_2, 5%CO_2, Rest Ar eingesetzt. Seitens der Stromquelle wurde jeweils die entsprechende Flach- bzw. Runddrahtkennlinie verwendet.
Bei gleichem Drahtvorschub (8/min) und gleichen Randbedingungen zeigt sich insgesamt ein qualitativ besseres Schweißnahtergebnis bei der Verwendung des Flachdrahtes. Besonders deutlich zeigt sich dieser Effekt bei der höheren Schweißgeschwindigkeit von 1,1m/min. Im Impulsbetrieb sind im Makroschliff eindeutige Vorteile für den Flachdraht in Form von geringerer Nahtüberhöhung und nicht existenten Einbrandkerben zu sehen. Im Standardbetrieb zeigt sich beim Flachdraht ein schmalerer, tieferer Einbrand bei weniger ausgeprägten Einbrandkerben.

3.3.1.2 Vergleich der drei eingesetzten Schutzgasgemische

Zusätzlich zu den im Projekt verankerten Schutzgasgemischen 4%O_2, Rest Ar und 18%CO_2, Rest Ar wurde das auf Anraten des PBA hinzugenommene 3-Komponentengemisch 5%O_2, 5%CO_2, Rest Ar eingesetzt und unter den in 3.3.1.1 genannten Randbedingungen gegenübergestellt. Die Versuche erfolgten ebenfalls an Kehlnähten in PA-Position (Werkstoff S355, blanke, gebürstete Oberfläche) bei den o.g. Schweißgeschwindigkeiten.
Im Impulsbetrieb ergeben sich insgesamt Vorteile für beide CO_2-haltigen Gemische bei geringerer Nahtüberhöhung und günstigerem Einbrand. Beim direkten visuellen Vergleich zeigt das 3-Komponentengemisch eine glattere Nahtoberfläche bei geringerer Silikatbildung. Im Standardbetrieb zeigen sich in den Makroschliffen deutliche Vorteile für das Gasgemisch 18%CO_2, Rest Ar. Hier ergibt sich eine günstigere Benetzung der Nahtflanken bei geringeren Einbrandkerben und einem breiteren Einbrandprofil. Danach ist das 3-Komponentengemisch zu nennen, das im Vergleich zum O_2-haltigen Schutzgas einen breiteren, allerdings etwas geringeren Einbrand zeigt. Zusammenfassend über alle Versuchsreihen lassen sich mit dem 3-Komponentengemisch im Hinblick auf das Einbrandverhalten die besten Schweißnahtergebnisse erzielen, so das dieses Schutzgas in Abstimmung mit dem PBA für alle weiteren Untersuchungen eingesetzt wurde.

3.3.1.3 Einfluss des Blechoberflächenzustandes

Bei den o.g. Randbedingungen wurden Bleche im Anlieferungszustand und mit gebürsteter (blanker) Oberfläche mit dem 3-Komponenetengas geschweißt und in Makroschliffen gegenüberstellt.
Bei der gebürsteten Oberfläche zeigt sich auf der Nahtoberfläche eine deutlich geringere Silikatbildung und eine bessere Flankenbenetzung. Insgesamt ergibt sich eine gleichmäßigere Nahtoptik. Vergleicht man die beiden Betriebsarten Impuls/Standard so ergeben sich aufgrund kaum vorhandener Einbrandkerben leichte Vorteile für den Impulsbetrieb.

3.3.1.4 Maximale Schweißgeschwindigkeit

Die Versuchsreihen erfolgten in PA-Position an gebürsteten Blechen (Schutzgas: 5%CO_2/5%O_2/Rest Ar, Drahtstellung längs). Dabei konnte bei einem Drahtvorschub von 8m/min eine maximale Schweißgeschwindigkeit von 1,65m/min bei einem a-Maß von 3 mm erzielt werden (Betriebsart Standard). Eine weitere Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit bei angepasstem Drahtvorschub auf 1,80m/min führte zu unzulässigen Einbrandkerben und bei einer Schweißgeschwindigkeit von 2,00m/min zusätzlich zu einer unzulässigen Nahtüberhöhung.
In der Betriebsart Impuls wurde eine maximale Schweißgeschwindigkeiten von 1,4m/min erreicht (a-Maß ebenfalls 3mm).

Vergleich der Schweißpositionen (PA-PB)
Grundsätzlich lassen sich die Flachdrähte auch in PB-Position ausreichend gut verschweißen, zeigen allerdings aufgrund des großen Nahtquerschnittes eine notwendige Reduzierung der Schweißgeschwindigkeit in PB-Position. So führte der Übergang von PA- in PB-Position in der Betriebsart Standard zu einer Reduzierung der maximalen Schweißgeschwindigkeit von 1,65m/min auf 1,40m/min (a-Maß jeweils 3 mm). In der Betriebsart Impuls konnte kein Einfluss der Schweißposition festgestellt werden. Hier wurde bei einem a-Maß von 3 mm jeweils eine maximale Schweißgeschwindigkeit von 1,40m/min erzielt.

Vergleich mit Runddrähten
Unter gleichen Randbedingungen erfolgten vergleichende Versuche mit einem querschnittsgleichen Runddraht (D=1,6mm). In PA-Position konnten hier maximale Schweißgeschwindigkeiten von 0,9m/min (Betriebsart Standard) bzw. 0,7m/min (Betriebsart Impuls) erreicht werden. Somit zeigen sich unter diesen Randbedingungen für den Flachdraht Geschwindigkeitsvorteile von ca. 80% bis 100% in PA-Position (a-Maße jeweils 3-4mm).
In PB-Position zeigte der Runddraht bei einer Schweißgeschwindigkeit von 0,7m/min in beiden Betriebsarten keine akzeptablen Schweißergebisse, so das die Versuche mit weiter reduzierter Schweißgeschwindigkeit nicht weiterverfolgt wurden.

Einfluss der Flachdrahtstellung
Die o.g. Versuchsreihen zur Ermittlung der maximalen Schweißgeschwindigkeit erfolgten alle mit Flachdrahtstellung längs. Die Drahtstellung quer zeigte bei den genannten Schweißgeschwindigkeiten in der Betriebsart Standard sowohl in PA- als auch in PB-Position nach EN ISO 5818 unzulässige Einbrandkerben bzw. zusätzlich eine unzulässige Nahtüberhöhung.

Einfluss von Brennerstellung und Schutzgaszufuhr
Bei den bisherigen Untersuchungen mit Flachdrähten wurden handelsübliche Schutzgasdüsen mit D=17mm eingesetzt. Die Verwendung von Schutzgasdüsen mit einem geringerem Durchmesser von 13 mm zeigten vor allem bei schwierigeren Bedingungen (verzunderte Blechoberfläche) ein gleichmäßigeres Anfließen an die Nahtflanken.
Durch Verändern der Brennerstellung von unter diesen Randbedingungen praxisüblichen 15°-stechend in 30°-stechend konnte das Schweißergebnis gerade bei höheren Schweißgeschwindigkeiten ebenfalls weiter verbessert werden.

3.3.1.6 Fazit der Untersuchungen an Kehlnähten

Schutzgas: Ingesamt Vorteile für das 3-Komponentengemisch ($5\%CO_2$, $5\%O_2$, Rest Ar) sowie$18\%CO_2$, Rest Ar

Schutzgasdüse: Kleinere Düse (D=13 mm) günstiger als große Düse (D=17 mm) (geringere Nahtüberhöhung)

Brennerstellung: 30°-stechend deutlich besser als 15°-stechend (ggf. begrenzte Zugänglichkeit)

Drahtstellung: Die Flachdrahtstellung längs ist günstiger als quer, (bessere Flankenanbindung bei geringerer Nahtüberhöhung)

Oberflächen-zustand: Bei gebürsteten Proben kann gegenüber leicht verzunderten Proben eine höhere Schweißgeschwindigkeit erreicht werden (dabei bessere Nahtoptik

Max. Schweiß-geschwindigkeit:

PA	Standard:	v_s = 1,65m/min
	Impuls:	v_s = 1,40m/min
PB	Standard:	v_s = 1,40m/min
	Impuls:	v_s = 1,40m/min

3.3.2 Spaltüberbrückbarkeit an Y-Nähten

Zur Untersuchung der Spaltüberbrückbarkeit wurde die Nahtvorbereitung an Blechdicken 10mm gemäß PBA-Beschluss von V-Naht- auf Y-Nahtvorbereitung (Öffnungswinkel: 60°, Steg: 3mm) geändert. Die hier bei unterschiedlichen Stegabständen durchgeführten Versuchsreihen zeigen eine prozesssichere Spaltüberbrückbarkeit von 3 mm bei einer Schweißgeschwindigkeit von 30 cm/min (Drahtstellung quer).
Darüber hinaus wurde bei einem Stegabstand von 3 mm die Drahtstellung variiert (45°/längs), der Einfluss der drei unterschiedlichen Schutzgasgemische betrachtet sowie das Einbrandverhalten mit dem des Runddrahtes (D=1,6mm) bei konstanter Schweißgeschwindigkeit von 30cm/min verglichen.
Die Nahtquerschnittsfläche nimmt dabei mit der Drahtstellung quer/45°/längs mit 35/27/23mm² entsprechend ab. Mit der Drahtstellung quer wird die gleiche Nahtquerschnittsfläche wie beim Runddraht erzielt. Als wichtiges Ergebnis bleibt festzuhalten, das auch bei der Drahtstellung längs im Vergleich zum Runddraht eine ausreichende Spaltüberbrückbarkeit bei guter Flankenanbindung gegeben ist. Somit zeigt sich trotz der geringen Flachdrahtbreite quer zur Schweißnaht kein Nachteil zum entsprechenden Runddraht.
Im Hinblick auf den Schutzgaseinfluss zeigen die CO_2-haltigen Gemische eindeutige Vorteile im Einbrandverhalten. Das Gemisch $18\%CO_2$, Rest Ar zeigt im Vergleich zum 3-Komponenetengas eine wesentlich höhere Spritzerbildung. Mit dem O_2-haltigen Schutzgas konnte keine einwandfreie Durchschweißung erzielt werden.

3.3.3 Erfahrungen zu Verschleiß und Drahtförderstörungen

Nach anfänglichen Problemen in Abstimmung von Draht- und Stromkontaktdüsentoleranzen läuft der Prozess seit ca. einem halben Jahr ohne größere Störungen bzw. Verschleiß stabil. Da es sich bei den Füll- und Massivflachdrähten jeweils um Anfertigungen in geringer Losgröße handelt, sind allerdings immer wieder Ungleichmäßigkeiten in der Aufspulung der Drähte zu bemerken, die zu entsprechenden Drahtförderstörungen führen können. In der Serienanfertigung wird das Aufspulverhalten als unkritisch betrachtet.

3.3.4 Untersuchungen zur Abkühlcharakteristik (Messung von $t_{8/5}$-Zeiten)

3.3.4.1 Untersuchungen an Kehlnähten (S355, t=10mm)

Verglichen wurde der Flachmassivdraht (4mmx0,6mm, Drahtstellung längs) bei konstanter Schweißgeschwindigkeit von 40cm/min mit Rundmassivdrähten (D=1,2mm bzw. 1,6mm) in PA-Position (Betriebsart Standard). Dabei wurde der Drahtvorschub jeweils so angepasst, das die Abschmelzleistung (8,5kg/h) und damit das a-Maß (a=7mm) identisch waren. In Schweißnahtmitte erfolgte die $t_{8/5}$-Zeitenmessung mittels NiCr-Ni-Thermoelementen.
Bei gleicher Nahtquerschnittsfläche ergeben sich beim Flachdraht mit ca. 8s und 1,4kJ/mm wesentlich geringe Abkühlzeiten und Streckenergien als beim Runddraht D=1,2 mm (ca. 13s und 1,9kJ/mm). Beim Runddraht D=1,6mm ergeben sich mit ca.12s und 2,0kJ/mm noch weitaus höhere Werte.
Nach aktuellem Stand würde dies gleiche $t_{8/5}$-Zeiten bei höherer Abschmelzleistung bzw. gleiche Abschmelzleistung bei geringerer $t_{8/5}$-Zeit für die Flachdrahtelektrode im Vergleich zum Runddraht bedeuten. Dies könnte unter gewissen Randbedingungen u.U. zu einer Reduzierung der notwendigen Lagenanzahl beim Schweißen von Kehlnähten führen. Derzeit sind beim Runddraht in einigen Anwendungsfällen bei Blechdicken von z.B. 6mm mehrere Lagen notwendig, um das zulässige $t_{8/5}$-Zeitenfenster nicht zu überschreiten.

Weiterhin wurden $t_{8/5}$-Zeitenmessungen unter den o.g. Bedingungen für die Betriebsart Impuls gemessen. Hier zeigte sich kein signifikanter Unterschied.

3.3.4.2 Untersuchungen an Stumpfnähten (V-Naht, ALFORM 900M, t=8mm)

Bei konstanten Randbedingungen erfolgte ein Vergleich von Flachmassivdraht (längs/quer) zu Rundmassivdrähten (D=1,2mm bzw. 1,6mm) mit dem Ziel das für den Grundwerkstoff geforderte $t_{8/5}$-Zeitenfenster von 8-12s zu erreichen. Dabei wurde die Abschmelzleistung (6,7kg/h) und die Schweißgeschwindigkeit (0,6m/min) bei den Zweilagenschweißungen jeweils konstant gehalten (Betriebsart Standard).
Auch hier zeigt sich, das die gemessenen Abkühlzeiten in den Decklagen bei der Verwendung des Flachdrahtes (ca. 13s) wesentlich geringer im Vergleich zu den Runddrähten (D=1,2mm: 20s, D=1,6mm: 22s) ausfallen.

3.3.5 Verfahrensprüfungen an Stumpfnähten

Aus den bisherigen, sehr positiven Ergebnissen hinsichtlich einer Beeinflussung des Abkühlverhaltens zu kürzeren $t_{8/5}$-Zeiten durch die Verwendung der Flachdrähte erfolgten weiterführende Untersuchungen an den Grundwerkstoffen ALFORM 700M (t=10mm), ALFORM 900M (t=8mm) und S960QL (t=10mm). Bei den Untersuchungen wurde versucht, annähernd gleiche $t_{8/5}$-Zeiten in der Größenordnung 10-12s einzuhalten.

Dabei sind bzw. werden der Grundwerkstoffgüte entsprechend die folgenden Schweißzusatzdrähte im Vergleich eingesetzt. Im Hinblick auf Verwendbarkeit der Ergebnisse in der Praxis wurde in Abstimmung mit dem PBA ein Runddraht mit D=1,2mm vorgesehen.

- ALFORM 700M: Flachdraht: Metallpulverfülldraht M42 / Massivdraht NiMoCr (4 x 0,6)
  Runddraht: Massivdraht NiMoCr (D=1,2)
- ALFORM 900M: Flachdraht: Metallpulverfülldraht M45 / Massivdraht X90 (4 x 0,6)
  Runddraht: X90 (D=1,2)
- S960QL: Flachdraht: Massivdraht X90 (4 x 0,6)
  Runddraht: X96 (D=1,2)

Alle Proben wurden einer Sicht- und Durchstrahlungsprüfung sowie einer Makroschliffbeurteilung mit Bewertung nach EN ISO 5818, Bewertungsgruppe B unterzogen.

Zur Bestimmung der mechanisch-technologischen Eigenschaften sind die Proben folgenden Prüfungen unterzogen worden:

- Härteprüfung nach DIN EN 1043-1
- Biegeversuch nach DIN EN 910
- Querzugversuch nach DIN EN 895
- Kerbschlagbiegeversuch nach DIN EN 875 / DIN EN 10 045-1 (Charpy-V-Proben)

3.3.5.1 Ergebnisse an ALFORM 700M

Die bisherigen Untersuchungen erfolgten mit einem Flachfülldraht M42 im Vergleich zum Rundmassivdraht NiMoCr. Bei annährend gleichen $t_{8/5}$-Zeit von 10-12s konnten die 10mm dicken Bleche mit dem Flachdraht in 3 Lagen verschweißt werden, während beim Runddraht insgesamt 4 Lagen notwendig waren.
Die Ergebnisse der mechanisch-technologischen Untersuchungen zeigen das sowohl Härte- als auch Festig- und Zähigkeitswerte von Flach- und Runddraht in den geforderten Toleranzen liegen.

3.3.5.2 Ergebnisse an ALFORM 900M

Auch in diesen Versuchsreihen konnte bei $t_{8/5}$-Zeiten von 10-12s auf eine zusätzliche Lage beim Flachdraht M45 im Vergleich zum Runddraht X90 verzichtet werden.
Die Härterreihen zeigen keine unzulässigen Werte über 380 HV10 (DIN EN ISO 15614-1). Die Festigkeiten entsprechen den geforderten Minimalwerten von 940 N/mm². Lediglich die Zähigkeitswerte liegen beim Flachdraht mit 36J unter dem geforderten Wert von >40J bei -40°C. Hier ist davon auszugehen, das durch die zusätzliche Lage beim Runddraht eine zusätzliche Anlassvergütung entsteht und somit zu höheren Kerbschlagarbeiten (86J bei -40°C) führt. Hier werden Versuche mit gleicher Lagenanzahl wie beim Runddraht sowie einem modifizierten Flachfülldraht durchgeführt.

3.3.5.2 Weiterführende Untersuchungen

Die Untersuchungen werden durch Versuchsreihen mit den ausstehenden Flachdrahtgüten in massiver und gefüllter Ausführung weiter ergänzt und die mechanisch-technologischen Eigenschaften ermittelt. Zusätzlich erfolgen Flachdrahtversuche bei gleicher Lagenanzahl wie bei den verwendeten Runddrähten, um den Einfluss der zusätzlichen Anlassvergütung näher zu untersuchen.

3.3.6 Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses

Im Berichtszeitraum haben zwei Sitzungen des projektbegleitenden Ausschuss stattgefunden (30.06.2005 und 02.02.2006). Insgesamt wurde ein guter Fortschritt in den Untersuchungen festgestellt. Die aktuell ermittelten Ergebnisse unterstützen die bei Antragstellung erwarteten Annahmen. Die nächste Sitzung des PBA findet am 23.05.2006 in der SLV Duisburg statt.

3.3.7 Verlängerung der Projektlaufzeit

Aufgrund einiger Engpässe bei der Beschaffung der Flachdrähte für die höherfesten Werkstoffgüten wurde für das Vorhaben eine kostenneutrale Verlängerung bis zum 31.08.2006 beantragt und auch genehmigt. Mittlerweile sind die notwendigen Füllflachdrähte (Ende Dez. 05) und Massivflachdrähte (Anfang Jan. 06) eingetroffen und zu einem großen Teil schon in die Untersuchung eingeflossen.

- M. Holthaus -