長く緩やかになり、階段状に似てくる。

- (3) 新しい凝固理論により $\theta > \phi$ であれば、このひずみはさらに大となり、一般に凝固特性値 θ_s が大きいほど、ひずんだ波形となり、ついには不連続な階段状となる。
- (4) 新理論ではアンダーカットを生ずる必要にして十分な条件は、溶込みの最大巾部で、平均凝固角 ϕ が、溶込み角 θ より小であることである。また旧理論でのべたオーバーラッピング型のビード形成はあり得ず、液相接触線はそこでの凝固によって常に溶込み面の境界に拘束されていることが示された。

参考文献

- 1) 石崎：アーク現象に関する界面張力理論(第1章)，本誌，Vol. 31 (1962)，No. 12，p. 951-958
- 2) 石崎：スパッターの凝固とビード形成機構，本誌，Vol. 46(1977)，No. 7，p. 387-394
- 3) Garland, J.C. and Davies, C.J.: Metal Construction and British Welding J. 2 (1970)，No. 5，p. 171-175s.
- 4) Koteki, D.J., Cheever, D.L. and Howden, D.G.: Welding J. Aug. (1972)，No. 5，pp. 386-391s.
- 5) 中根，曾我，松本，酒井：TIGアークスポット溶接部の表面に生ずる波について，アーク物理委員会資料，71-155
- 6) 石崎：溶接時の接触角について，アーク物理委員会資料，75-274
- 7) 谷 一郎：流れ学，岩波全書，136
- 8) 石崎：界6，ビード形成の機構，本誌，Vol. 33 (1964)，No. 2，p. 125-131
- 9) 石崎：同上

CO₂ 溶接におけるシールド効果のテレビによる観察*

玉置維昭** 益本 功*** 高橋庸一****

Some Observation on the Gas Shielding Conditions of CO₂ Arc Welding by the Application of a Television System*

by Koreaki Tamaki**, Isao Masumoto*** and Yoh-ich Takahashi****

The shape of the shielding gas stream of CO₂ arc welding was visualized by the television system combined with the Schlieren optical apparatus. Some factors, such as the diameter of welding nozzle, the flow rate of shielding gas and the velocity of wind blow which influenced the core region of shielding gas and also the shielding area on the base metal surface, could be examined by this method. Gas analysis of shielding atmosphere and X-ray inspection of weld metal were also carried out to confirm the results obtained by this method.

The following results were obtained.

- (a) In the area where the core region of shielding gas could be observed by the method, an enough CO₂ concentration was measured, which could prevent the porosity of mild steel weld metal. And the minimum CO₂ concentration for preventing the porosity was found to be about 95 vol%.
- (b) An experimental formula, which included shielding distance toward the wind, crosssectional area of nozzle, shielding gas velocity (Vs) and wind velocity (Vw), was obtained. And the critical velocity ratio Vs/Vw, which was the minimum velocity ratio for preventing the porosity under the wind blow, was estimated as 1.6~2.1. The value was then confirmed by the X-ray inspection on the porosity of weld metal.

1. 緒 言

著者の一人はさきにシールドガスの CO₂ 濃度を測定することにより，CO₂ 溶接におけるシールド効果の良

否を判定したり。

本研究ではさらに市販の工業用テレビを用いて，CO₂ 溶接におけるシールドガスの流れ，および諸因子による流れの変化状況を可視化して，シールド状態の観察を容易にしようとした。さらにこの観察方法を用いて，溶接トーチのノズル直径，CO₂ 流量，風速などの諸因子がシールド効果におよぼす影響についても二，三の測定を行った。またシールドガス流の CO₂ 濃度分布および

*原稿受付 昭和52年10月18日(昭和50年度春季全国大会にて発表)

**正 員 三重大学工学部 Member, Mie University, Faculty of Engineering

***正 員 名古屋大学工学部 Member, Nagoya University, Faculty of Engineering

**** 同上(現在 日立製作所)

溶接金属の気孔率についてもしらべ、テレビ観察の結果と比較検討した。

2. 実験方法

(a) ガスシールド状況のテレビによる観察方法

シュリーレン装置と工業用テレビとを Fig. 1 のように組合わせたシールドガス流の観察装置を設置した。同図の 1～7 がシュリーレン装置の部分である。ノズル 12 から流出するシールドガス流の像をスクリーン 8 に結ばせ、これをビジコン管球型のテレビカメラ 9 で近接撮影し、11 のビデオテープに録画した。そして録画画像を適宜静止させて、シールドガス流についての計測を行なった。また実験条件の記録は音声、および文字の同時撮影によった。

Fig. 1 Television and Schlieren optical system for observing the shielding gas stream
Note; 1 Hg-lamp, 2 Convex lens, 3 Slit, 4 and 5 Concave mirrors (450 mm in diameter), 6 Knife edge, 7 Convex lens, 8 Screen, 9 TV-camera, 10 Monitor TV, 11 Video tape recorder, 12 Welding torch, 13 Gas stream

(b) シールドガスの CO₂ 濃度の測定

マイクロメータにより x, y, z 方向に任意に微動できる台をノズル近傍に設置し、これにガス採取用の注射器 (容量 0.5 ml) を固定して、シールドガス流の種々の個所からガス試料 0.5 ml を採取し、ガスクロマトグラフにより CO₂ 濃度を測定した。この場合、吸収剤としてシリカゲルを用い、キャリアガスとしてアルゴンを用いた。

(c) 溶接ノズルの形状

実験に用いた各種溶接ノズルの形状、寸法を Fig. 2 に示す。同図でノズル No. 1～5 は本実験のために作ったノズルであり、No. 6 は CO₂ 自動溶接用の市販ノズルである。No. 1～5 のノズルの場合、コンタクトチップに相当する部分の直径 d_1 をノズル内径 d の 1/2 とした。そして有効ノズル断面積 A としては、次式による数値を用いることにした。

$$A = (d^2 - d_1^2)\pi/4$$

Fig. 2 Nozzle designs

(d) ガス流出実験

上述のノズルを用い、CO₂ 流量を 10～60 l/min の範囲で変えて、無風および風速 1.5 および 3.5 m/s の下で実験を行なった。送風はこの範囲の風速が得られる風洞によった。そして実験はアークを出さない状態で実施した。

(e) 溶接部の健全性についての実験

シールドガス流の形状および CO₂ 濃度と溶接部の健全性との関係をしらべるため、溶接部の X 線検査を行なった。この場合の溶接条件は次のとおりである。

溶接電流 390～410 A, アーク電圧 36～37 V, 溶接速度 50 cm/min, ノズル-母材間距離 15 mm, ノズル No. 6

母材としては Table 1 に示す板厚 10 mm の SS41 を用い、溶接ワイヤとして同表の DS1 ワイヤ (直径 1.6 mm) を用いた。溶接ビードの表さは 200 mm である。

Table 1 Chemical compositions of base metal and electrode wire used for inspecting the porosity of weld metal

Materials	Chemical composition (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Ti
Base metal, SS 41	0.18	0.06	0.77	0.013	0.018	—
Electrode wire DS 1	0.07	0.75	1.74	0.015	0.011	0.19

3. 実験結果

(a) シールドガス流の形状と CO_2 濃度分布との関係
 流量 20 l/min でシールドガスを自由に流出させて、ノズルから下方に一定の距離 h のところで、中心から半径方向 (y) にそって CO_2 濃度を測定すると Fig. 3 のようになる。同図によれば、ノズル中心に近い部分の CO_2 濃度はきわめて高い ($h=25$ mm の場合を除いて 98% 以上) が、ノズル外周部に近づく、ノズル出口部では急激に、出口から下方にはなれたところではゆるやかに CO_2 濃度が減少する。Fig. 4 の右半分はこのよう

Fig. 3 CO_2 concentration in shielding gas
 Note; Without base metal, Nozzle No. 6, Gas flow rate 20 l/min

Fig. 4 Shape of shielding gas stream and its CO_2 concentration
 Note; Nozzle No. 6, Gas flow rate 20 l/min

て、 CO_2 の濃度分布を求めたもので、中心の長さ約 24 mm の円錐状の領域では 95% 以上の CO_2 濃度が保たれている。一方、同図の左半分は右側と同じ状態のシールドガス流のシュリーレン像であって、ノズル出口に近いところでは、上述と同様形状の円錐状のコア領域 (図の矢印の領域) が観察される。しかしこの領域の外側および下流では、混合領域になっており、ここでは空気の巻き込みが顕著におきることが想定される。このように Fig. 4 の左右両図を対照してみると、シュリーレン像のコア領域では、 CO_2 濃度も 95 Vol.% のように十分に高い値になっていることが知られる。さらに流量 12 l/min の場合についても、Fig. 3 と同様の結果が得られた。ただしこの場合、円錐状領域の長さはやや大きく約 27 mm であった。

次にシールドガス流量 10~60 l/min の範囲について、円錐状領域の長さを求め、これをコアの長さとして Fig. 5 に●印で示した。同図のようにコアの長さは流量の増加とともに減少する。

Fig. 5 Influence of the distance from nozzle to base metal on the core length
 Note; Nozzle No. 6

次にノズルから 15 mm および 30 mm の位置に母材鋼板を置いた場合は、それぞれ Fig. 5 に○印および△印で示すように、自由流出にくらべてコアの長さが増大している。そして 15 mm のときは、流量 30 l/min 以下の範囲で、ノズル下の全領域でコア領域が得られ、さらに 60 l/min のように流量が多い場合でもなお若干のコア領域が存在する。

Fig. 6 はシールドガス流量 20 l/min で、ノズル-母材間距離 15 mm の場合について、母材表面での CO_2 濃度を求めたもので、ノズル半径以内の領域 (図の鎖線より左の領域) では、 CO_2 濃度が 95% 以上になっている。また母材を置いた場合は自由流出の場合にくらべ

Fig. 6 CO₂ concentration in shielding gas on the base metal surface

Note; Distance from nozzle to base metal 15 mm, Nozzle No. 6, Gas flow rate 20 l/min

て, CO₂ 濃度の高い領域がはるかに拡大されており, このことは前述のコアの長さの測定結果に対応するものである。

上述のようにガス分析結果とシールドガス流の形状の観察結果とはよく対応していることが知られた。ここでガス分析を行なって, CO₂ 濃度分布を求める実験では, 一個づつ多くの位置について分析する必要があるため, 分析にきわめて長時間を要する。また風がある場合のようにシールドガス流の形状が刻々変動している場合には, 分析に困難を伴う。したがって上述のようにテレビによりシュリーレン像を観察して, この場合のコア領域をもって CO₂ 濃度の高い領域をきめる方法はきわめて迅速で簡便な実験方法といえよう。

(b) シールドガス流の CO₂ 濃度分布と気孔との関係

溶接金属の気孔を防止するために必要とされるシールドガスの CO₂ 濃度を求めるため, CO₂ に種々の量の空気を故意に混合したものをシールドガスとし, 自動溶接により軟鋼板上にビード溶着を行なって, 溶接金属の気孔数をしらべた。その結果は Fig. 7 のとおりで, シールドガスの CO₂ 濃度が約 95 Vol.% 以下 (空気濃度 5 Vol.% 以上) になると, 気孔が発生している。なお著者の一人は CO₂-N₂ 混合ガスをシールドガスとして同様の実験を行ない, 窒素濃度が約 4 Vol.% 以上になると気孔が発生することをすでに指摘している²⁾。

したがって前述のシュリーレン像におけるコア領域 (CO₂ 濃度 95 Vol.% 以上に相当) は, 溶接部の気孔を防ぐのに必要な CO₂ 濃度が確保されている領域であるということができる。

Fig. 7 Influence of CO₂ content of shielding gas (CO₂-air mixture) on porosity of mild steel weld metal

Note; Nozzle No. 6, Base metal SS 41

Fig. 8 Effect of shielding gas flow rate and nozzle diameter on shielding distance toward the wind (l)

Note; Nozzle No. 1~5, Distance from nozzle to base metal 15 mm, Wind velocity 1.5 m/s

(c) 風に対するシールドガス流の抵抗性について

風速 3.5 m/s の場合について, シールドガス流量の増加とともに風に対するシールドガスの抵抗性が増す状況を Fig. 8 に示す。同図では風に対する抵抗性を示すものとして, ノズル下方 15 mm の位置に置いた母材の表面で, ノズル中心直下から風上側で完全にシールドされている位置までの距離を求め (Fig. 8 参照), これを風上側のシールド距離 l として表示してある。 l の値はシールドガス流量の増加とともに増大しており, 流量が小さい範囲ではノズル直径 d が小さいほうが l の値が大きくなっている。しかし流量が大きい範囲で d が小

さい場合には、流量を増しても l はほとんど増加しない。

次にたて軸に $l(\text{mm}^2)$ と有効ノズル断面積 $A(\text{mm}^2)$ との比をとり、横軸にシールドガス流速 $V_s(\text{m/s})$ と風速 $V_w(\text{m/s})$ との比をとって、Fig. 8 の結果を整理してみると Fig. 9 のようになる。同図には風速 1.5 m/s の場合の結果も並記されている。なお V_s は流量から算出した値を用いた。この図によれば、ノズル直径 d が 16 mm 以下で、 V_s/V_w が極端に大きい場合を除いて、各因子が次のような直線関係で整理できる。

$$l/A = 0.04 V_s/V_w - 0.02 \quad \dots\dots\dots (1)$$

(1) 式を実際の溶接に適用するには、溶接の際に要求される風上側のシールド距離の値を知ることが必要であり、この距離は当然溶融池の大きさなどの諸因子によりことなると考えられる。しかしここでは単純にこの距離がノズル半径に等しいものと仮定して、(1) 式で $l = 0.5d$ と置いて、(1) 式から風に抵抗して溶接部をシールドするのに必要な最小限の流速比 (V_s/V_w の限界値) を求めてみると Table 2 の * 印のように 1.6 ~ 2.1 の値になる。No. 3 ~ 5 のシリーズではノズル直径が小さいほど、この値は大きい。

次に上述の推定結果を実験的に確かめるため、ノズル No. 6 ($d = 18 \text{ mm}$, $A = 176 \text{ mm}^2$) を用い、シールドガス流量を 50 l/min (流速 4.76 m/s) とし、風速 1.5 および 3.5 m/s における母材表面上の CO_2 濃度を測

Fig. 9 Relation between shielding distance (l), crosssectional area of nozzle (A), wind velocity (V_w) and shielding gas velocity (V_s)

Note; Nozzle No. 1 ~ 5, Distance from nozzle to base metal 15 mm

Table 2 Critical values of the ratio (shielding gas velocity V_s)/(wind velocity V_w) for preventing the influence of wind

Nozzle d (mm)	Critical ratio, V_s/V_w	Remarks
19(No. 3)	1.6*	Present work
16(No. 4)	1.8*	
13(No. 5)	2.1*	
18(No. 6)	$\begin{cases} 2.0* \\ 1.7** \end{cases}$	
20	2.0	Verhagen et al. ³⁾
12	2.0	Kbirikadze et al. ⁴⁾
16	1.7	
12	1.7	To et al. ⁵⁾

*Estimated from the shape of shielding gas stream

**Result of X-ray inspection on weld metal

Fig. 10 Influence of wind on the CO_2 concentration in shielding gas

Note; Nozzle No. 6, Distance from nozzle to base metal 15 mm, Gas flow rate 50 l/min

定した。その結果を Fig. 10 に示す。このノズルによる限界流速比 V_s/V_w の計算値は 2.0 である。同図のように風速 1.5 m/s, すなわち V_s/V_w が 3.2 で、限界流速比よりも流速比が大きい場合には、ノズルの下方の領域でシールドが十分になされているのに対し、風速 3.5 m/s, すなわち V_s/V_w が 1.3 で限界流速比よりも小さい場合には、風上側の CO_2 濃度が極端に低く、シールド効果が見られない。

なおこの実験の場合、シールドガス流の形状が風によって刻々変化していたため、分析試料を正確に採取することが困難であった。したがって Fig. 10 の CO_2 濃度値は近似値であって、真の値はこれよりも高濃度と推定される。

次にノズル No. 6 により軟鋼板にビード溶着を行ない、溶接金属の気孔数と風速およびシールドガス流量との関係を求めた。この場合の母材および溶接条件は前項の実験の場合と同じである。実験結果を Fig. 11 に示す。さらにこの結果を流速比 V_s/V_w で整理すると Fig. 12 のようになる。同図から気孔を防ぐための限界流速比として、1.7 が得られた。この実験値は前述の計算値

Fig. 11 Influence of wind velocity and shielding gas flow rate on porosity of mild steel weld metal

Note; Nozzle No. 6, Distance from nozzle to base metal 15 mm

Fig. 12 Influence of shielding gas velocity (V_s) and wind velocity (V_w) on porosity of mild steel weld metal

Note; See the note of Fig. 11

の2に十分近い値といえる。

Table 2 にこれまでの研究者がシールドガスの分析³⁾ および溶接部のX線検査^{4,5)} で求めた限界流速比を, 本研究の結果と比較して示した。本研究の実験値および計

算値はこれら従来の研究結果ともよく一致している。

4. 結 言

テレビシュリーレン装置とを組合わせたシールドガス流の観察装置を用い, CO₂ 溶接におけるシールド効果を直接観察できるようにした。さらにこの装置により, シールドガス流と外気との混合状態およびシールドガスの風に対する抵抗性をしらべ, これとあわせて実施した二, 三の実験をもとにして, 次のような結果を得た。

(a) テレビ観察によるシールドガス噴流のコア領域では, 溶接金属の気孔防止に必要な CO₂ 濃度が確保されている。ガス分析によればこの限界の CO₂ 濃度はほぼ95%である。

(b) 風がある場合について, 風上側のシールド距離, ノズル断面積, CO₂ 流速 (V_s) および風速 (V_w) の間の関係式を求めた。そしてこの式から気孔防止に必要な流速比 V_s/V_w を求めると2付近の値となり, これは軟鋼溶接金属についてのX線検査の結果と一致している。

終りに, 本研究を行なうにあたり熱心なご協力をいただいた名古屋大学講師篠田剛氏に感謝したい。

また, 本研究が昭和48年度文部省科学研究費補助金により行なわれたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 関口, 益本, 長坂: ガス被包金属アーク溶接における送給ガスの被包効果, 名古屋産業科学研究所研究報告, No. 13 (1961), 24~28
- 2) 関口, 益本: ガス被包金属アーク溶接による鋼材溶接部の気孔生成について (第1報) — 窒素の影響, 溶接学会誌, Vol. 29 (1959), No. 7, 463~472
- 3) J. G. Verhagen, A. Liefkens, G. W. Tichelaar: Gas shielding for CO₂ welding, Metal Construction, Vol. 4 (1972), No. 2, 47~50
- 4) Т. Г. Квирикадзе, Н. М. Новожилов, В. К. Савин: Влияние Ветра на Газовую Защиту при Сварке в CO₂, Автоматическая Сварка, 184 (1968), No. 7, 21~24
- 5) 榎, 二保: ガスシールドアーク溶接における耐風効果に関する研究 (第2報), 溶接学会誌, Vol. 45 (1974), No. 2, 174~179