

CO₂ アーク溶接ノズルの特性と耐風効果 (第1報)*

二 俣 正 美**

棟 徹 夫**

阿 部 清**

(昭和47年9月30日受理)

A Study on the performance of nozzles of CO₂ Arc Welding (part 1)

by Masami HUTAMATA, Tetsuo Tō
and Kiyoshi ABE

In order to improve a CO₂ arc welder which operates in windy outdoor places, 3 type of welding nozzles, i.e. A, B and C type were manufactured. In this case, A means a single-shielded nozzle, B means a dual-shielded nozzle and C means a swirling voltex shielded nozzle.

Experiments were carried out on the distribution of shielding gas velocity, the shape of jets and the effect of CO₂ gas flow-rate on welds.

Results of the experiments are obtained as follows: —

(1) The distribution of gas velocity with A type nozzle shows a convergent solid pattern and B type shows a semi-radial pattern. On the shape of jet, C type may have all patterns from a convergent solid to a complete radial pattern.

From these results, it is considered that the C type nozzle is for practical welding better than the other nozzles.

(2) When A type nozzle was used, defects were not found in the welds in the region of 70~80 l/min. of CO₂ flow-rate.

1. ま え が き

CO₂アーク溶接法は、開発されて以来、その作業性、経済性、溶接部の機械的性質など溶接特性の良好さのため、今日では、アーク溶接の中でもっとも重要な溶接法とみなされ、各種工業分野における広汎な使用がなされている。

CO₂アーク溶接法は、アークおよび熔融金属をCO₂ガスでシールドすることにより、空気の侵害を防ぎ、同時にアークの発生と維持を容易にし、アークの安定をはかることを主目的としている。したがって、風のある場所での溶接作業の際、風のためシールドガス流が乱され、

* 日本機械学会第50期全国大会講演会(昭47.8, 札幌)にて発表

** 北見工業大学機械工学科

空気の侵入が生じると、アークは不安定となり、溶接部に気孔を発生させる成因となる。また溶融金属中に溶解した空気中の窒素は窒化鉄 Fe_4N として地中に析出し、鋼をもろくさせ破断の原因となる。

これらのことから、 CO_2 アーク溶接法の欠点の一つとして耐風性の低いことが問題となる。通常の CO_2 アーク溶接の場合、風速 1.5~2.0 m/sec 程度が最大使用限界であり、風のある場所、例えば屋外での溶接作業の実際上困難なことである。

問題点の解決方法は、大別して次の二つの方法、すなわち、(1) 防風治具の使用、(2) シールドガス流の高速化が考えられる。防風治具の使用は、効果的方法であり溶接施工現場では種々の形態のものが考案され、利用されている¹⁾。しかし、溶接機器としての汎用性に問題が残される。一方シールドガス流は、外風に十分耐え得る流速を維持することが当然必要条件である。しかし、ガス流を高速とすることにより、溶融金属の飛散(いわゆるスパッタリング)、ビード形状の変形、空気の巻き込みを伴う場合があり、ただ単にガス流速は大きくできないとされてきた。

CO_2 アーク溶接法の耐風性の改善のための試みについては、従来若干の報告がある²⁾。しかし、 CO_2 アーク溶接法は、広汎な利用とともに耐風性の問題について多くの改善の余地を残しているように思われる。

本研究は、これらの現状から主として溶接ノズルの形状に着目して耐風性の改善を目標としたものである。このため、ノズルの形状を3系統に分類し17種試作し、基礎的実験としてアークを伴わない場合の流速分布、噴流形状からノズルの特性を調べ、さらに人工風のもとでの溶接実験から試作ノズルの耐風性を調べた。

本報告においては、試作ノズルの系統別代表ノズルの流速分布、噴流形状およびシールドガス流の高速化が溶接に与える影響について検討した。

Type	No.	θ_1°	θ_2°	θ_3°	Zmm	dmm	Dmm	Wmm	ϕ°
A	a-1	8			10	12	19		
	a-2	8			10	9	19		
	a-3	8	8		5	12	19		
	a-4					12	19		
	a-5					19	19		
	a-6	8				12	19		
B	b-1	8		-8	10	12	19	1.0	
	b-2	8		-8	10	12	19	1.5	
	b-3	8		-8	10	12	19	2.0	
	b-4	8		-8	10	12	19	2.5	
	b-5	8		8	10	12	19	2.0	
	b-6	8		50	10	12	19	2.0	
C	c-1	8			10	12	19		90
	c-2	8			10	12	19		45
	c-3	8			10	12	19		60
	c-4	8			10	9	19		90
	c-5					19	19		60

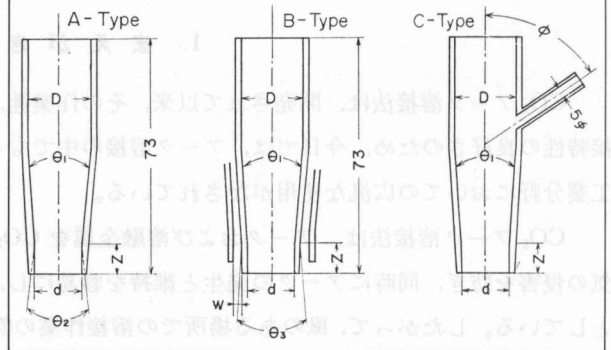


図1 供試ノズルの形状、諸元
Fig. 1. Shape and dimension of the welding nozzles.

2. 実験装置および方法

2.1 ノズル

供試ノズルの諸元について図1に示す。A系統ノズルは、一般に普及されている軸流一重シールド型ノズル、B系統ノズルは、A系統ノズルの外側に外流用ノズルを加えた構造の二重シールド型ノズル、C系統ノズルは、軸方向流に接線方向流を加えることにより噴流に回転力を与えた旋回流シールド型ノズルである。本報告における使用ノズルは、A系統 a-1, B系統 b-3, C系統 c-1 ノズルである。なおノズルの内面は磨き十分平滑として用いた。

2.2 流速分布および噴流形状

流速分布の測定は、模擬的に製作された溶接トーチ部に供試ノズルを取付け、CO₂ ガスの人体に与える影響から、CO₂ ガスの代わりに空気を用いた。

流速の測定時には、流れを乱さないことが要求される。このため、外径 1.3 mm の注射針の先端を加工して得たピトー管と SM 型傾斜管アルコールマノメータとを用いて、壁面上に直立（トーチ保持角 90° に相当）したノズル端面から、0, 5, 10, 15, 20 mm 離れた位置（ノズル-母材間距離に相当）5 点における流速分布を求めた。図2は、流速分布測定装置の概略図である。図3は注射針ピトー管 (ΔP_1) のプラントル型ピトー管 (ΔP_2) を標準ピトー管としてキャリブレーションした速度係数検定曲線であり、ピトー係数 1 を示す。

また、溶接ノズルのように口径の小さい場合、旋回流の流速分布を測定することは困難なため C 系統ノズルについては、今回は噴流形状の観察を行なうも

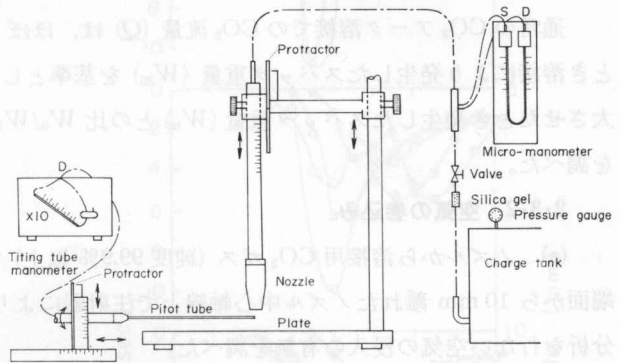


図2 流速分布測定装置

Fig. 2. Schematic diagram of the apparatus for the measurement of the distribution of shielding-gas velocity.

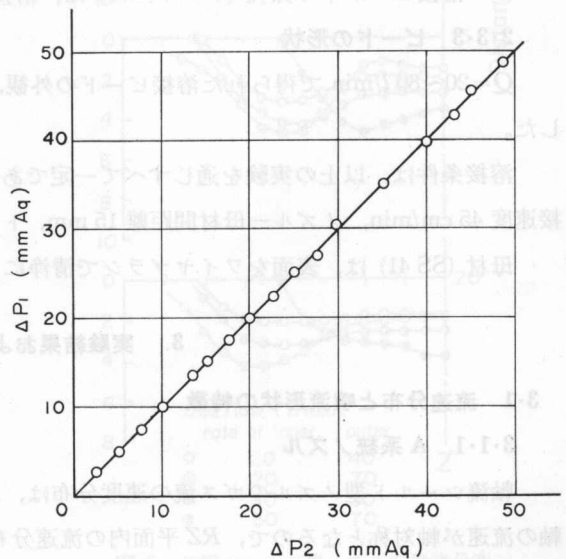


図3 ピトー管の検定

Fig. 3. Relationship between ΔP_1 and ΔP_2 .

のとし、Re 数を同一なる条件のもとにノズルより水を噴出させ、噴流形状を写真撮影した。

2.3 ガス流の高速化に伴う影響

前述のように、耐風性を向上させるためにガス流量を増大させ、ガス流を高速化することは、スパッタリングの増大、ビード形状の変形、空気の巻込みを伴う場合がある。これらの現象はノズル形状と密接な関係にある。特に高速で噴出したガスが直接溶融金属に当る軸流シールド型ノズルの場合に影響が大きいと思われる。ここでは、A 系統ノズルについて高速流が溶接部に与える影響について検討した。

2.3.1 スパッタリング

通常の CO₂ アーク溶接での CO₂ 流量 (Q) は、ほぼ $Q=20$ l/min である。 $Q=20$ l/min のとき溶接により発生したスパッタ重量 (W_{20}) を基準とし、 $Q=20$ l/min から $Q=70$ l/min と増大させたとき発生したスパッタ重量 (W_n) との比 W_n/W_{20} を求めスパッタリングの増大の有無を調べた。

2.3.2 空気の巻込み

(a) ノズルから溶接用 CO₂ ガス (純度 99.9% 以上) を $Q=20\sim 80$ l/min 流出させ、ノズル端面から 10 mm 離れたノズル中心軸線上で注射器によりガスを採取、ガスクロマトグラフで分析を行ない空気の侵入の有無を調べた。

(b) 溶融金属中に溶解した場合、空気中の窒素は窒化鉄 Fe₄N となって地中に析出する。 $Q=20\sim 80$ l/min で得た溶接ビードから溶着金属を採取し、蒸溜ネスラー吸光光度法 (JIS G 1228) により溶着金属中の窒素の定量分析を行ない窒化の有無を調べた。

(c) 溶接ビード中の気孔 (ブローホール) は、溶接部の X 線写真から調べた。

2.3.3 ビードの形状

$Q=20\sim 80$ l/min で得られた溶接ビードの外観、断面からガス流の高速化の影響を観察した。

溶接条件は、以上の実験を通じすべて一定であり、溶接電流 300 A、アーク電圧 30 V、溶接速度 45 cm/min、ノズル-母材間距離 15 mm、トーチ保持角 90°、逆極性 (DCRP) である。

母材 (SS 41) は、表面をワイヤブラシで清浄にして用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 流速分布と噴流形状の特徴

3.1.1 A 系統ノズル

軸流シールド型ノズルのガス流の速度分布は、ノズルの中心軸線 Z 軸に対し、半径方向 R 軸の流速が軸対称となるので、RZ 平面内の流速分布を示す。図 4 は、A 系統 a-1 ノズルの流速分布の例である。

溶接用ノズルはその中央部に通電用コンタクトチップが位置する。このため、ノズル端面

近傍では、環状の噴流を形成する。環状噴流の特徴は、環状に噴出した噴流によって囲まれた負圧域を生じることであり³⁾、このため壁面に垂直に噴出した噴流は、中央部に向かって曲げら

Distance from Nozzle center (mm)

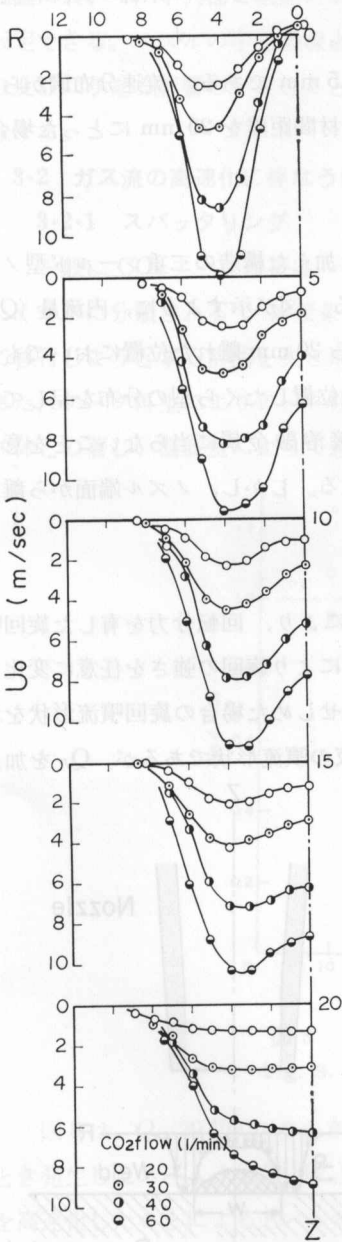


図 4 一重シールド型ノズルの流速分布
Fig. 4. Distributions of shielding-gas velocity in A-type nozzle.

Distance from Nozzle center (mm)

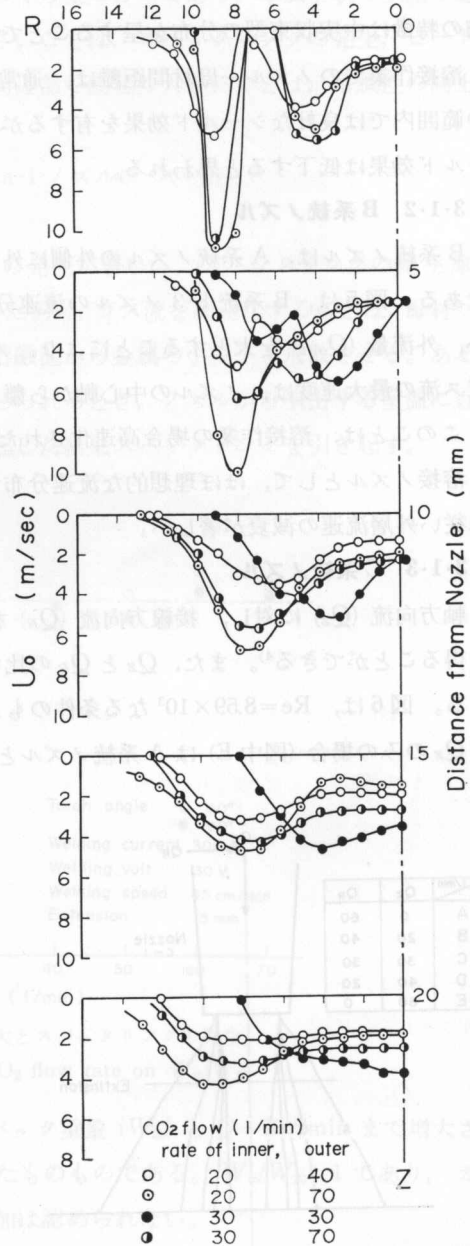


図 5 二重シールド型ノズルの流速分布
Fig. 5. Distributions of shielding-gas velocity in B-type nozzle.

れ中空から中実の噴流に移行しつつ拡散する。ノズル端面から 5 mm の位置において、ノズルの中心軸線上の流速は、最大流速のほぼ 1/2 であり、流速分布は、くら型を呈している。しかし、ノズル端面から離れるに従いくら型の分布は徐々に変化し、ノズル端面から 20 mm 離れた位置ではノズルの中心軸線上に最大流速が移行している。このように A 系統ノズルの流速分布の特徴は中実収束型の分布を呈することであるといえる。

溶接作業でのノズル—母材間距離は、通常の場合 10~15 mm である。流速分布図から、この範囲内では良好なシールド効果を有するが、ノズル—母材間距離を 20 mm にとった場合、シールド効果は低下すると思われる。

3.1.2 B 系統ノズル

B 系統ノズルは、A 系統ノズルの外側に外流用ノズルを加えた構造の二重シールド型ノズルである。図 5 は、B 系統 b-3 ノズルの流速分布の例である。図が示すように、内流量 (Q_{in}) を小、外流量 (Q_{out}) を大とすることにより、ノズル端面から 20 mm 離れた位置においてもなおガス流の最大速度は、ノズルの中心軸から離れた周辺部に位置したくら型の分布を呈している。このことは、溶接作業の場合高速化されたガス流が直接溶融金属に当たらないことを意味し、溶接ノズルとして、ほぼ理想的な流速分布であるといえる。しかし、ノズル端面から離れるに従い外層流速の減衰が著しい。

3.1.3 C 系統ノズル

軸方向流 (Q_z) に対し、接線方向流 (Q_R) を加えることにより、回転分力を有した旋回噴流を得ることができる⁴⁾。また、 Q_z と Q_R の比を変えることにより旋回の強さを任意に変化させる。図 6 は、 $Re=8.59 \times 10^3$ なる条件のもとに水を噴出せしめた場合の旋回噴流形状を示す。 Q_z のみの場合 (図中 E) は A 系統ノズルと同じ中実収束の噴流形状であるが、 Q_R を加え

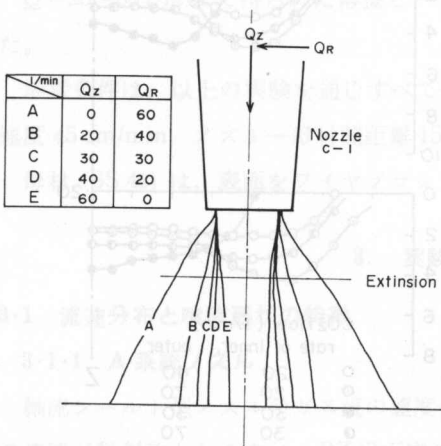


図 6 旋回流シールド型ノズルの噴流形状

Fig. 6. Patterns of jet behavior by C-type nozzle.

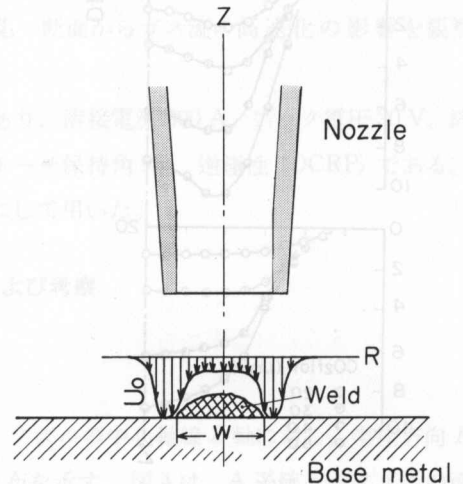


図 7 シールドガスの理想的流速分布

Fig. 7. Ideal distribution of shielding-gas velocity.

ることにより噴流形状は変化し、 Q_n のみの場合は、完全放射状の旋回噴流となる (図中 A)。この過程において、溶接ノズルとしての理想的噴流形状が存在すると推測される。

たとえば、溶接ノズルの理想的流速分布は図7に示すように、熔融金属部をシールドする位置において、中央部で低速、周辺部で高速のくらの分布であり、準放射状の噴流であると仮定できる。ノズルの中心軸線上で流速の小さいことは、スパッタリングの発生、ビード形状の変形に与える影響の少ないことを意味し、周辺部で流速の大きいことは、耐風性の向上を意味する。

3.2 ガス流の高速化に伴う影響 (A 系統 a-1 ノズルについて)

3.2.1 スパッタリング

一般に CO₂ アーク溶接はスパッタリングの発生が著しい。スパッタリングの発生原因はいくつかに分類される⁵⁾。溶接条件を一定とした場合、ガス流を高速化することは、母材へ向って移行しようとする溶滴を吹き飛ばし、また熔融池から金属の小粒子を飛散させる。あるいはまた、アーク再生によりアーク柱が高温に熱せられるとき、ノズルから噴出する室温に近いガス体との著しい温度差によって急激な膨張を起した結果スパッタリングを引き起す。

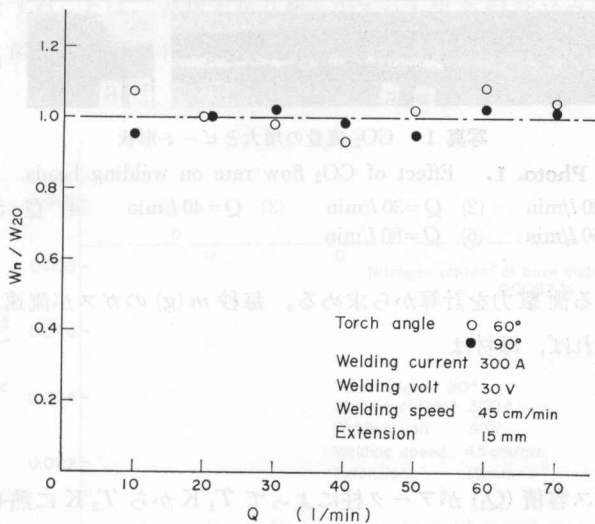


図8 CO₂ 流量の増大とスパッタリングの発生

Fig. 8. Effect of CO₂ flow rate on W_n/W_{20} .

図8は、 $Q=20$ l/min のとき発生したスパッタ重量 (W_{20}) と $Q=70$ l/min まで増大させたとき発生したスパッタ重量 (W_n) とを比較したものである。 $W_n/W_{20} \approx 1$ であり、ガス流を高速化したことによるスパッタリングの増加は認められない。

3.2.2 ビード形状

高速化されたガス流が直接熔融池に衝突する場合、その衝撃力により溶接ビードの中央部はくぼみ、周辺部の盛り上った凹状のビードに変形すると考えられる。

写真1は、 $Q=20\sim 80\text{ l/min}$ まで増大し溶接したときのビードの外観および断面の写真である。 $Q=80\text{ l/min}$ の場合(写真1(6))においてもビードの変形は認められない。

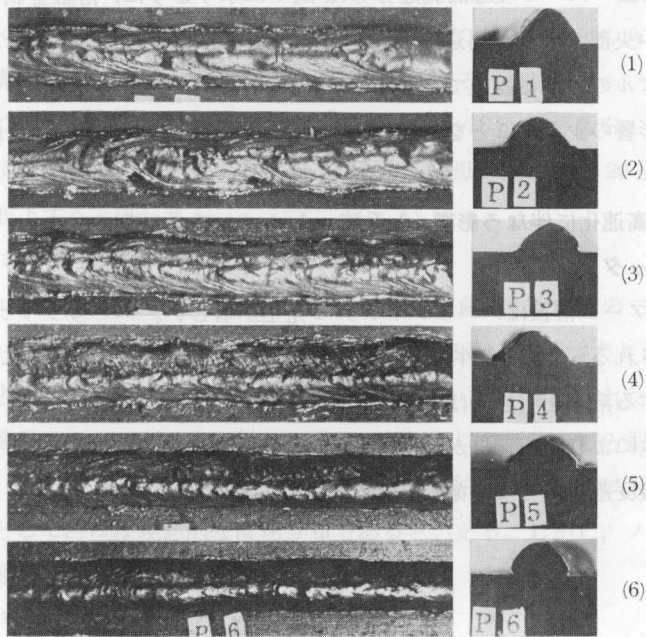


写真1 CO₂流量の増大とビード形状

Photo. 1. Effect of CO₂ flow rate on welding beads.

- (1) $Q=20\text{ l/min}$ (2) $Q=30\text{ l/min}$ (3) $Q=40\text{ l/min}$ (4) $Q=50\text{ l/min}$
 (5) $Q=60\text{ l/min}$ (6) $Q=80\text{ l/min}$

次にガス流による衝撃力を計算から求める。毎秒 $m\text{ (g)}$ のガスが流速 $U_2\text{ (cm/sec)}$ で母材に衝突するものとすれば、母材は

$$F = mU_2 \tag{1}$$

なる力を受ける。

毎秒流出するガス容積 (Q_1) がアーク柱によって $T_1^\circ\text{K}$ から $T_2^\circ\text{K}$ に熱せられた場合、膨張したガスの容積 (Q_2) は

$$Q_2 = 22.4 \times 10^3 \times \frac{T_2}{273} \times \frac{m}{M} \tag{2}$$

したがって、ガス流速 (U_2) は

$$U_2 = \frac{Q_2}{S} \tag{3}$$

$$\therefore F = mU_2 = \frac{22.4 \times 10^3 \times \frac{T_2}{273} \times \frac{m^2}{M}}{S} \tag{4}$$

ただし、 S ; ノズルの断面積 (cm^2)

M ; ガスの平均モル数

ここで、 $Q = 10^3$ (cm^3/sec), $S = 0.93$ (cm^2), ガス流の平均温度を $T_2 = 1,000^\circ\text{K}$ (アーク柱の温度は $6,000^\circ\text{K}$ 程度といわれている)⁶⁾, アーク周辺のガス体は, その大部分が CO_2 と CO_2 の熱解離によって生じた CO であり, 雰囲気組成を CO_2 66%, CO 34% とする⁷⁾ と $M=39$ となる。またガス流の衝撃力により変形され易いのは, アーク直下周辺の限られた部分であり, この部分を直径 5 mm の円とする (本実験のビード幅はおよそ 9 mm である)。以上の条件から (4) 式を用いると

$$F = 1.38 \times 10^3 \text{ (dyne)} = 1.4 \text{ (g)}$$

計算において, ガス体はすべてノズルから母材に向けて垂直に働くものと仮定したが, 実際にはノズルの半径方向に拡散する部分があると推定される。したがって溶融部の受ける力は計算値より小さくなると思われる。

3.2.3 空気の巻込み

ガス流を高速とすることは, 乱流となり易くかえって空気の巻込みを伴ない, この結果アークを不安定とし溶接部にプロホールを発生させ, あるいは溶着金属を窒化させると考えられる。

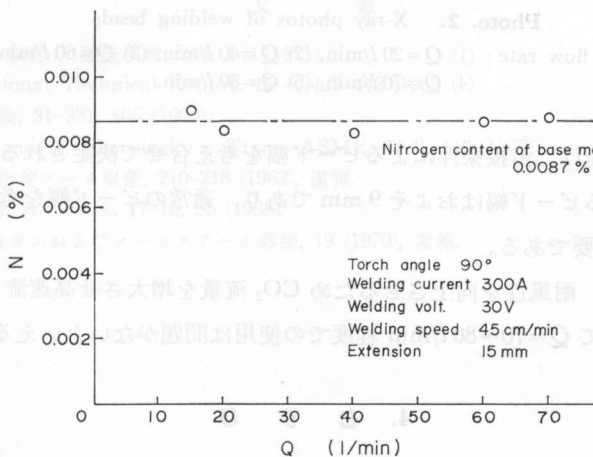


図9 CO₂ 流量の増大とビード中の窒素

Fig. 9. Effect of CO₂ flow rate on contents of nitrogen in bead metals.

図9は, 溶接ビード中から溶着金属を採取し蒸溜ネスラー吸光度法により溶着金属中の窒素の定量分析を行なった結果を示す。溶着金属中の N はほぼ $Q=20\sim 70$ l/min の場合とも一定であり, ガス流を高速としたことによる空気の巻込みは認められない。

写真2は, $Q=20$ l/min ~ 80 l/min とした場合の溶接継手部の X線写真である。 $Q=$

80 l/min に増大させたことによる欠陥は認められず(写真2(5))健全な継手を示している。また噴流中のガス分析からも CO_2 流量を増大させ、ガス流を高速化したことによる空気の使用は認められなかった。

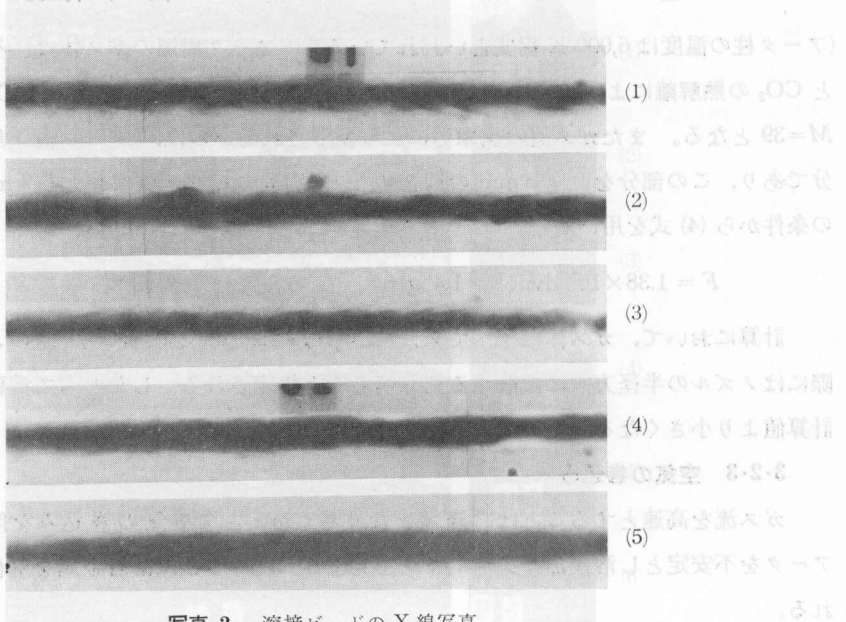


写真2 溶接ビードのX線写真

Photo. 2. X-ray photos of welding beads

CO_2 flow rate; (1) $Q=20$ l/min, (2) $Q=40$ l/min, (3) $Q=60$ l/min,
(4) $Q=70$ l/min, (5) $Q=80$ l/min.

溶接ノズルの直径は、溶接条件によるビード幅を考え合せて決定されるべきである。本実験の溶接条件におけるビード幅はおよそ9 mm であり、通常のビード幅を考え合せてもノズルの径は12 mm 程度必要である。

以上の実験から、耐風性を向上させるため CO_2 流量を増大させ高速流とする場合、A 系統 a-1 ノズルにおいて $Q=70\sim 80$ l/min 程度での使用は問題がないといえる。

4. お す び

CO_2 アーク溶接法の弱点である耐風性の改善を目標に基礎実験を行ない、ノズル形状と流速分布、噴流形状および CO_2 流量を増大させ高速流とした場合の溶接特性などを検討し、次の結果を得た。

(1) A 系統ノズルの流速分布は、ノズル端面から離れるにしたがい中空から中実の分布を示す。B 系統ノズルは、内流量を小、外流量を大とすることにより、ノズルの中心軸線上で流速が小さく、周辺部で大きいくらの分布を示す。C 系統ノズルは、軸方向流(Q_z)と接線方向量(Q_R)との比、 Q_z/Q_R により、中実収束の噴流から完全放射状の旋回噴流まで自由

ことができる。

溶接ノズルの理想的流速分布を溶融金属をシールドする位置において準放射状と仮定すると、B系統およびC系統ノズルは、ほぼ理想的ノズルであるといえる。また特にC系統ノズルの溶接ノズルとしての適用性が示唆された。

(2) 特にA系統ノズルのように中実収束の流速分布を示すノズルは、ガス流を増大させ高速化することによる溶接部に与える影響について知ることが必要であるが、 $Q=70\sim 80$ l/minの場合、スパッタリング、ビード形状、ブローホール、窒化現象などの変化は認められなかった。したがってCO₂アーク溶接の耐風性を向上させるためA系統ノズルにおいて $Q=70\sim 80$ l/min程度の流量の増大は十分可能である。

おわりに、本研究にあたり、X線写真の撮影および判定に御協力いただいた北海道立工業試験所機械金属部佐々木正治氏、有益な助言をいただいた本学機械工学科流体工学研究室坂本弘志助教授、森谷 優教務職員ならびに実験装置の製作に御協力いただいた本学機械工学科工作研究室の諸氏に謝意を表します。

なお、本研究は昭和46年度文部省科学研究費補助金を受けて行なわれたことを付記し、合せてお礼申し上げます。

文 献

- 1) たとえば、倉石・桜井： 建築技術，244，163 (1971)。
- 2) 奥 武： National Technical Report, 15-4, 427-442 (1969)。
- 3) 赤川・多賀： 棧論，31-221，105 (1965)。
- 4) N. A. Chigier and A. Chervinsky: Trans. ASME, 34-2, 443 (1967)。
- 5) 安藤・長谷川： 溶接アーク現象，210-218 (1962)，産報。
- 6) C. G. Suits: J. A. W. S., 17-10, 35 (1938)。
- 7) 鈴木春義： 炭酸ガスおよびノーガスアーク溶接，19 (1970)，産報。

し ま え が き

電極付ノズルを用いたマイクロストリップ溶接は、マイクロ波電磁回路の移動性によって、現在のところ理論的な検討が不十分で設計基準を得るだけにとどまらず、この問題に関しての解析は、最初 G. T. Roome 氏により、さらに最近日本の研究者もある。前者は変形等角変換法により、また後者は電極付ノズルを用いた TEM 波近似により解析を行ったものである。本論文の場合には通常の使用状態では TEM 波近似で十分である場合が多いが、電極付ノズルを用いた場合は、異方性の影響により三波結合方向に異方性が生じるので TEM 波近似