炭酸ガス関口線材アーク熔接法について (第 6 報)*

— 炭関アーク熔接法によるビードの形状 —

関口 春次郎** 益 本 功** 隈上 益二郎***

On the Carbon Dioxide-Sekiguchi's Filler Wire-Arc Welding Process
(Report 6)*

— Shape of bead by the C. S. arc welding process —

By H. Sekiguchi**, I. Masumoto** and M. Kumagami***

Abstract

We studied the shape of bead—i.e. penetration, width, height of reinforcement, reinforced area, penetrated area and fused area—obtained by C. S. arc welding process. And this process was compared with various welding processes, i.e. argon arc, submerged arc and manual arc with two types of coated electrodes, about the items mentioned above and penetration ratio: penetration/width of bead.

Moreover the electric energy needed to deposit unit length of bead was calculated, and the ratios of penetration, width of bead and fused area to the energy were compared.

Next authors investigated the effects of oxygen added in the supplied gas in case of C. S. arc welding on the porosity of weld metal and the shape of bead.

The results obtained are as follows.

- i) Penetration in case of C. S. arc welding is largest compared with those by other welding processes. It is 1.7 times of that by argon arc welding, 1.6 times of that by submerged arc welding and 2.2~3.8 times of those by manual arc weldings.
- ii) Penetration ratio in case of C. S. arc welding is largest among others, too.
- iii) In spite of the same proceeding rate of bead, width of bead by submerged arc welding is largest compared with C. S. and argon arc welding processes.
- iv) The electric energy needed to make the same length and penetration of bead is smallest in case of C. S. arc welding compared with others.
- v) With increase of oxygen content of supplied gas in case of C. S. arc welding, the penetration increases and width of bead decreases.
- vi) The limit of permissible addition of oxygen in supplied gas, below which the blow hole does not occur in bead, depends upon the degree of deoxidation of base metal and contents of deoxidizers of filler wire.

1. 緒 言

一般に炭酸ガスアーク熔接法による場合は他の熔接法による場合に比べ熔込みが深い。厚さ 10mm 程度までの鋼板ならば、I 型に突合せ、1 パスで熔接を完了し、裏側まで完全に熔かすことができる。したがって、開先加工を簡単にし、熔接速度を高め得るので、熔接施工上はなほだ有利である。このような事例については、すでに報告したのであるが¹⁾²⁾、炭関アーク熔接法による熔込みが、他の熔接法に

比べ、どの程度に大きいのか、或いはビード形状はどのように違うのかなどの諸点については、未だ数量的な報告をしていないので、本報ではこれらの点について述べたい。

また前報で述べたごとく、炭関アーク熔接法においては、送給ガスにさらに故意に酸素を適量混合させることがある。この酸素の添加によってビードの形状も影響されることを、実験結果に基づき報告したい。

2. 実験方法

実験は、炭関アーク熔接、アルゴンアーク熔接、潜弧熔接およびイルメナイト型、低水素型二種類の熔接棒による被覆

Fig. 1 Deposited plate for examination of bead unit of length; mm

* 原稿受付 昭和32年 8 月 1 日 (昭和32年度熔接学会秋季學術講演会において発表)

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

*** 正員 名古屋大学工学部卒業生 Member, Graduate of Faculty of Engineering, Nagoya University

アーク溶接について行った。Fig. 1 に示す厚さ 10 mm の短冊型軟鋼板上にシングルビードを置き、この試験片を図のように分割し、巾 10mm の試片 2 枚について、各々その両端面を研磨腐蝕して、Fig. 2 に示すビード横断面の形状、すなわち熔込み、(D)、ビード巾 (W)、余盛高さ (H)、余盛面積 (A)、熔込み面積 (B) および熔融面積 ($F=A+B$) を測定した。短冊型試験片の残りの部分すなわち長さ 90mm 宛の両端部および長

D : Penetration
W : Width of Bead
H : Height of Reinforcement
A : Reinforced Area
B : Penetrated Area
F = A + B : Fused Area

Fig. 2 Cross-section of bead for examination

さ 100mm にわたる中央部のビードを切削して化学分析用の試料を採取した。分析結果ならびにその考察については、別報で詳述する予定である。

各種溶接法についての溶接諸条件を Table 1 に示す。炭関アーク溶接、アルゴンアーク溶接および潜弧溶接はいずれも自動溶接を行い、ビード進行速度は一定とし、40 cm/min. にした。被覆アーク溶接の場合には、上述諸法の場合に得られるビードと同程度の巾を有するビードを得るため心線直径 5mm のものを採用した。

Table 2 には、供試母材の化学組成ならびに市販炭関アーク溶接用充填線材の化学組成を示した。使用した DS 1 の中には、化学組成を異にする 2 種類があったので、本実験では DS 1-X 及び DS 1-Y の記号を付した。諸溶接法

Table 1. Welding Condition of Various Welding Processes

Welding Process	Flow of shielding gas or flux	Filler wire or electrode	Dia. of filler wire or electrode core, mm	Arc voltage V	Current A	Current density, A/mm ²	Feeding rate of wire or electrode, cm/min	Proceeding rate of bead, cm/min
C. S. arc welding	CO ₂ ; 29 cfh O ₂ ; 11 cfh	DS1-Y	1.6	35	440	210	710	40
	CO ₂ ; 29 cfh	DS1-Y	1.6	35	420	208	710	40
Argon arc welding	A; 38 cfh O ₂ ; 2 cfh	DS1-Y	1.6	28	400	200	710	40
Submerged arc welding	Unionmelt flux Grade 50	Oxweld 43	4	30	480	40	110	40
Manual arc welding with coated electrode	—	D 4301	5	27	220	10	22	18
	—	D 4316	5	21	230	11	20	15

Table 2. Chemical Analyses of Filler Wires and Base Metal

Filler wire and base metal	Mark	Elements, %					
		C	Si	Mn	P	S	Ti
Filler wire	DS1-X	0.04	0.59	1.64	0.010	0.020	0.21
	DS1-Y	0.06	0.75	1.78	0.010	0.016	0.19
Base metal	Killed steel	0.19	0.08	0.49	0.012	0.022	—

の比較の実験においては、DS 1-Y を使用した。またアルゴンアーク溶接用充填線材としても同じく DS 1-Y を用いた。

炭関アーク溶接における送給ガスの添加酸素の影響を調べる実験においては、Table 3 のリムド鋼、セミキルド鋼、キルド鋼および高張力鋼の 4 種類の母材を採用し、Table 2 の充填線材 DS 1-X を用いた。供試母材の形状寸法は Fig. 1 と同一とし、前述の諸項について測定した。送給ガスとしては、炭酸ガスの一定量 (31.4 cfh) に酸

Table 3. Chemical Analyses of Base Metals Used for Experiment to Investigate Effects of Oxygen Added in Supplied Gas for C. S. Arc Welding Process

Base metal	Elements, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al
Rimmed steel	0.09	0.01	0.56	0.014	0.021	0.12	0.03	0.06	0.004
Semi-killed steel	0.12	0.08	0.60	0.008	0.026	0.16	0.03	0.04	0.008
Killed steel	0.09	0.27	0.51	0.010	0.008	0.17	0.04	0.06	0.020
High tensile steel	0.17	0.53	1.27	0.018	0.020	0.19	0.03	0.06	0.074

素 (0~26.9 cfh) を加えて、混成ガス中の酸素の体積百分率が 0~46% になるようにして流出させた。混合ガス中の酸素百分率 50% 以上の場合、酸素の流量を一定 (26.9 cfh) とし、炭酸ガスを 21~0cfh の範囲に減少させて実験を行った。

3. 実験 結 果

i) 諸熔接法の比較

Fig. 1 に示す 4 ケ所のビード横断面につき、熔込み (D)、ビード巾 (W)、余盛高さ (H)、余盛面積 (A)、熔込み面積 (B) 及び熔融面積 ($F=A+B$) を測定した。諸熔接法によって得られたビードにつき、これら諸項のそれぞれの平均値を Table 4 に示す。また同表には各種熔接法

熔込みが得られる。被覆アーク熔接に比較すれば、2.2~3.8 倍の値である。ビード巾については、自働熔接の場合ビード進行速度が同一であるにもかかわらず、潜弧熔接の場合が他の熔接法による場合に比べ際立って広い。炭関アーク熔接及びアルゴンアーク熔接の場合は、ビード進行速度 40cm/min. を採用し、直径 1.6mm の充填線材を使用して、心線直径 5mm の被覆熔接棒によるビードの巾とは同程度の巾を有するビードが得られる。

Fig. 4 は熔込率 (R) についての比較を示す。熔込率 R は単位のビード巾にたいする熔込みの深さを表わし、同一熔込みの場合は、熔込率の大きいものはビード巾狭く、逆に熔込率の小さいものは、ビード巾は広いことになる。炭関アーク熔接法の熔込率は、被覆アーク熔接、潜弧熔接の 2

Table 4. Results of Investigation about Shapes of Beads by Various Welding Processes

Welding process	Welding time per 1cm bead $\frac{1}{S}$, (min)	Energy per 1cm bead $E = \frac{VA}{S}$, (VA-min)	Penetration, D, (mm)	Width of bead, W, (mm)	Height of reinforcement, H, (mm)	Penetrated area, A, (mm ²)	Reinforced area, B, (mm ²)	Fused area $F=A+B$, (mm ²)	$R = \frac{D}{W}$	$\frac{D}{E} \times 10^4$	$\frac{R}{E} \times 10^5$	$\frac{F}{E} \times 10^3$
C.S. arc welding (CO_2+O_2)	1.25	19250	6.9	13.6	3.2	28.0	49.0	77.0	0.50	3.6	2.6	4.0
C.S. arc welding (pure CO_2)	1.25	18375	6.3	13.8	2.7	25.5	47.3	72.8	0.45	3.4	2.4	4.0
Argon arc welding ($A+5\% O_2$)	1.25	14000	4.1	13.8	3.4	23.0	33.0	56.0	0.29	2.9	2.1	4.0
Submerged arc welding	1.25	18000	4.4	18.1	2.6	34.0	51.4	85.4	0.24	2.4	1.3	4.7
Manual arc welding with low hydrogen type electrode	4.00	19320	3.2	13.7	3.1	32.4	26.0	58.4	0.23	1.7	1.2	3.0
Manual arc welding with ilmenite type electrode	3.33	19780	1.8	14.6	2.2	22.6	18.6	41.2	0.12	0.9	0.6	2.1

により長さ 1cm のビードを置くに要する電気エネルギー E ($VA \times \text{分}$)、熔込みとビード巾との比 R (こゝでは熔込率と呼ぶこととする。) および D, R, F と所要エネルギー E との比を計算して示した。

Fig. 3 は、熔込み (D) およびビード巾 (W) についての諸熔接法の比較を示している。同図で明らかなごとく、炭関アーク熔接法は他の熔接法に比べ、熔込みが著しく深く、特に適量の酸素を含む場合は、アルゴンアーク熔接より 70%、潜弧熔接より 60% 深い

Fig. 3 Comparison of various welding processes concerning penetration and width of bead

倍以上、アルゴンアーク熔接の 1.7 倍で、はるかに大きい。このことは開先形状を簡単にし、熔着量および層数を少なくして熔接を終了し得ることを意味し、歪も軽減できる。また当然作業能率もよく、熔接施工上著しく有利であると考えられる。

本報の実験ではビード試験を行ったので、炭関アーク熔接において熔込みは最大で 6.9mm あるが、本法は被熔接母材面以下にアークを突込むことができるのが一つの特徴である。したがって熔接前の接手間隙を適当にし、必要に応じ直径 2mm あるいは 2.3mm の充填線材を使用すれば、さらに熔込みを深くすることができ、厚さ 10mm 程度の鋼板を I 型に突合せ、1 パスで熔接することは容易である。

Fig. 4 Comparison of various welding processes concerning the ratio of penetration to width

Photo. 1 は、諸熔接法によって得られたビードの横断面形状を示す。アルゴンアーク熔接による場合は、本実験においても融合部近くに気孔の発生を認めた。また、Photo. (1) の (ii) に示すごとく、ビード形状は V または U 字型を呈している。Photo. 1 (1) はこの状況を示している。したがって熔接線をはずれることが少ない。

Fig. 5 は熔込み(D) 熔込率(R) 及び熔融面積(F) の各々と長さ 1cm のビードを置くに要するエネルギー E との比を、諸熔接法採用の場合につき、比較したものである。D/E および R/E の値は、いずれも炭関アーク熔接の場合最も大きく、アルゴンアーク熔接、潜弧熔接、低水素型熔接棒によるアーク熔接およびイルメナイト型熔接棒によるアーク熔接の順になっている。すなわち一定の熔

込みの熔接を行うには、炭関アーク熔接による場合が所要エネルギー最小である。

所要エネルギー (E) にたいする熔融面積 (F) の比 (F/E) は、潜弧熔接の場合の値だけがやゝ高く、他の自働熔接の場合はすべてほとんど同じ値を示している。これは Table 4 の余盛面積 A を比較すれば明らかなごとく、

Phot. 1 Cross-sections of beads by various arc welding processes

- (1) C. S. arc welding process
- (2) Argon arc welding process
- (3) Submerged arc welding process
- (4) Manual arc welding with a ilmenite type electrode
- (5) Manual arc welding with a low hydrogen type electrode

Fig. 5 Comparison of various welding processes concerning D/E, R/E and F/E

潜弧熔接では他の熔接法に比べ特に余盛の熔着金属量が多く、F/E の値も大きく表われたものと思われる。

また上述のごとく、炭関アーク熔接法の場合の熔込みはきわめて深く、潜弧熔接に比べ60%も深い。しかも炭関アーク熔接の充填線材の熔融速度はきわめて早いので 1.6 mm の線材を用い、潜弧熔接の 4mm あるいは 5mm 直径の線材を用いて行う熔接と同程度の作業をすることができ。したがって熔接電源の容量 90KVA の潜弧熔接と同程度の作業に必要な炭関アーク熔接の熔接電源の容量は 30KVA あるいは 40HP 程度である。このことは、経済的観点からすれば、基本電力料金が半以下となり、中小企業者にとって、魅力的なことである。

ii) 炭関アーク熔接法によるビード形状におよぼす送給ガス中の添加酸素の影響

脱酸程度を異にする 4 種類の鋼材 (Table 3 参照) を用い、炭関アーク熔接法により、送給ガスの酸素量を変化させて、Fig. 1 と同じ形状及び寸法の試験片にビードを熔着した。送給ガス中の添加酸素量が或限界を越えて増すと、ビードに気孔が発生するに至る。そしてこの限界の添加酸素の体積百分率を示すと Fig. 6 のごとくである。ビードの気孔は X 線透過写真により測定した。同図によれば、完全に脱酸されたキルド鋼あるいは高張力鋼を母材とした場合

Fig. 6 Effect of oxygen added in supplied gas on the porosity of bead

には、送給ガスに酸素を80%近く添加しても、ビードに気孔が発生しない。リムド鋼、セミキルド鋼の場合は、酸素が約40%に達するも気孔が現われなかった。母材がリムド鋼の場合について類似の実験を行った前報では、この限界値は酸素約30%の所にあった。この相違は母材および充填線材の組成の相違に基くものと思われる。このように母材または充填線材の脱酸程度あるいは脱酸剤含量によって、熔着ビードに気孔が発生するまで許容する送給ガス中の添加酸素百分率が異なり、キルド鋼および高張力鋼の場合にはこの限界値が80%近くにあるということは、すこぶ興味深い事実である。

また炭関アーク熔接法においては、送給ガスの酸素量が増加するにしたがって熔込みは増し、ビード巾は狭くなる傾向にある。この代表的な一例を、母材がリムド鋼の場合につき Fig. 7 に示した。ビードに気孔が現われ始めると、表面開口孔のため、規則的な傾向が見られなくなるが、この限界値までは、明らかに上述の傾向が認められる。

Fig. 7 Effects of oxygen added in supplied gas on penetration and width of bead by C. S. arc welding
Remark:— Base plate; Rimmed steel

4. 結 語

炭関アーク熔接法によるビード形状を、アルゴンアーク熔接法、潜弧熔接法および二種類の被覆熔接棒による手動アーク熔接法による場合と比較して、次の事実を明らかにした。

i) 熔込みは炭関アーク熔接法による場合が最も深く、アルゴンアーク熔接の場合の1.7倍、潜弧熔接による場合の1.6倍、被覆アーク熔接による場合の2.2~3.8倍である。潜弧熔接によるビードの中は同一のビード進行速度で自働的に行う炭関アーク熔接およびアルゴンアーク熔接の場合に比著しく広い。

ii) 炭関アーク熔接による熔込率は0.5程度で、アルゴンアーク熔接の0.34、潜弧熔接の0.24、被覆アーク熔接の0.12~0.23に比最も大きい。したがって熔接施工に際して歪が少なく、開先形状も簡単にでき、能率的である。

iii) 長さ1cmのビードをおくに要するエネルギーにたいする熔込みの比および同エネルギーにたいする接込率の比は、炭関アーク熔接の場合最大で、アルゴンアーク熔接、潜弧熔接、被覆アーク熔接の場合の順になっている。すなわち一定のエネルギーで一定長のビードを置くときは、炭関アーク熔接の場合熔込みが最も深い。

iv) アルゴンアーク熔接によるビードの横断面形状がきのこ状を呈するのにたいし、炭関アーク熔接による場合は、VまたはU字型の好ましい形状を示す。

v) 炭関アーク熔接においては、送給ガス中の添加酸素の割合が増すにつれて熔込みは増し、ビード巾は減少する傾向にある。

vi) 熔着ビードに気孔を発生するまでに許容しうる送給ガス中の酸素の割合は、母材の脱酸程度あるいは充填線材の脱酸剤含量により変化し、母材がキルド鋼あるいは高張力鋼の場合には、送給ガス中の添加酸素の割合が約80%となるまで、熔着ビードに気孔の発生は認められなかった。

本研究遂行に当っては錦織清治博士の激励を忝うし、大同製鋼株式会社、東亜精機株式会社及び大阪変圧器株式会社の御協力を得た。茲に謹んで深厚なる謝意を表する。

文 献

- 1) 関口春次郎, 熔接学会誌, 26 (1957) No. 4
- 2) H. Sekiguchi and I. Masumoto; British Weld. J. 4 (1957) No. 5

(30頁よりつづく)

熔接学会第15回編集幹事会議事録 (大阪)

日 時 昭和32年11月12日 (火) 14時~17時
場 所 大阪大学工学部熔接工学教室会議室
出席者 井川理事, 佐藤幹事長, 水野, 山本, 出口, 市川, 各常任幹事, 南日, 中井, 叶野各幹事. 日本印刷吉崎氏

議 事

1. 経過報告

- 1) 10月号は10月下旬発送済
- 2) 11月号は10月末に校了し, 11月中旬に発送出来る予定.
- 3) 12月号初校は目下著者に校正依頼中
- 4) 1月号初校は11月末にできる予定

2. 2月号編集の件

- 1) 2月号の内容を審議決定した.
- 2) 2月号掲載予定の吉田兎四郎氏の原稿は頁数の都合上, 欧州旅行中の写真2~3枚程度を追加しても

らうことにし, この件依頼することにした. (大内氏に依頼済)

3. 報告事項

- 1) 1月号巻頭言原稿は近日中に到着の予定である.
- 2) 1958年の会誌表紙の色はえんじ色とすることに東京から連絡があった.
- 3) 熔接文献トストの件について報告があった.

4. 資料原稿の件

- 1) 帝酸小谷幹事から近日中に提出の予定である旨. 水野幹事から報告があった.
- 2) Etude de la relaxation mécanique des tensions résiduelles de Soudage en Sollicitation statique et en fatigue——(佐藤)
- 3) 英国におけるパイプ熔接規準(続)(水野)
- 4) Schweissen und Schneiden 掲載論文の翻訳(中井)

5. 講義原稿の件