エレクトロガスアーク溶接*

稲垣 道夫** 岡西 達也***

Electrogas Arc Welding*

By Michio Inagaki** and Tatsuya Okanishi**

1. はし が き

溶接技術が第2次大戦後、大々的に米国より吸収されて今年ではや10数年を経ており、各種の分野で鋼構造物製作原価の低廉化に役立ってきている。この場合コスト低減の最大のチャンピオンは溶接の自動化であり、その先頭に立つものはなんといってもいわゆるユニオンメルト法で知られているサブマージド溶接法であった。たとえばいま各種の板厚の突合せ継手の手溶接とサブマージド溶接の溶接時間を比較してみると図-1に示すごとく、サブマージド溶接時間は手溶接のそのわずか $\frac{1}{4}$ 程度となる。この1例からもサブマージド溶接法が果してきた役割は十分高く評価されるものであり、現在その採用範囲は諸種の分野においてさらに拡張の一途をたどっているのである。いっぽう表-1が示すように自動溶接用ワイヤの生産量は半自動溶接を含めて全溶接棒のそれに対してわずか4%足らずにすぎない現状にある。この原因が奈辺にあるかは各構造物の構造、用途、材料の各種の要素により一がいには断定することはできないが、いまかんたんに考えて従来のふつう一般に用いられているサブマージド溶接法の短所について述べればつぎの3点に集約できる。

1. 下向溶接以外の position 溶接ができない。
2. わずかな humidity によっても、気泡その他の欠陥がでやすい。とくに鋼材がリムド鋼の場合にはサルファクラックのごとき重大な欠陥を生じる。
3. 溶接継手の衝撃値が手溶接のそれに比し低い。

これらの諸点のうち2と3とはさておき、もっとも重大な欠点は1の下向溶接以外の position 溶接が不可能という点であろう。(なんととなれば、2と3についてはたとえば鋼材の適当な選択、あるいは構造物全体の溶接施工後の熱処理などコストアップとはなるが解決法がある。)したがっていま下向以外にも立向その他の溶接が

もっとも能率的に自動化しうるような溶接法があれば溶接の利点はさらに大となることは論をまたない、最近新しく普及し、現在各方面で実用化されはじめた炭酸ガスアーク溶接は上に述べたサブマージド法のもつ欠点を補うものであり、とくに半自動、全自動を問わず下向以外にも適用しうるという機構はその将来性を一段と明るいものとしている。ここで述べる立向の自動炭酸ガスアーク溶接 (Electrogas arc welding) はその一手段として提案されたもので今後の組立技術にある種の革命的变化を与えるものといっても過言ではない。以下これについてその機構、溶接機、施工法、溶接材料、継手性能および適用例についてふれてみよう。

図-1 自動溶接および手溶接による突合せ継手の下向、横向、立向姿勢における溶接効率

表-1 溶接棒の月間生産量 (昭和37年8月)

溶接棒の種類		生産量 (t)	全溶接棒に対する比(%)
アーク溶接棒	軟鋼用	8,837	86.2
	特殊鋼用	474	4.6
	その他	254	2.5
ガス溶接棒		228	2.2
半自動溶接用ワイヤ		20	0.2
自動溶接用ワイヤ		356	3.5
その他		77	0.8
合計		10,246	100.0

* 原稿受付, 昭和38年1月8日

** 正員, 金属材料技術研究所 Membe, National Research Institute for Metals

*** 正員: 川崎重工業KK Member, Kawasaki Dockyard Co., Ltd.

2. エレクトログスアーク溶接の機構

エレクトログスアーク溶接は 1960 年 5 月ベルギーの Liège において催された世界博覧会に ARCOS 社から Vertomatic-G 溶接機が展示されたのが最初のものである。ただし Philips 社においても、同様の方法を炭酸ガスエレクトログスアーク溶接法として発表している。エレクトログスアーク溶接法は、エレクトロスラグ溶接における上進単層溶接法に炭酸ガスアーク溶接法を組合せたもので、溶融池は CO_2 ふんいきおよび液状スラグによって保護され、その際溶融池が完全に固まるまでは水冷した銅当板(カッパー・シュー)で支えられている。図-2 はエレクトログスアーク溶接の原理を図解したものである。溶

図-2 エレクトログスアーク溶接法の原理図

融池は溶接すべき板端と水冷した銅当板で囲まれたほぼ方形の凹部にたたえられる。ワイヤは溶接ヘッドから彎曲したワイヤガイドノズルをとおって溶接部に送られる。ワイヤの先端と溶融池とのあいだにアークを発生させて、その熱でワイヤが溶着されてゆくのはふつうの炭酸ガスアーク溶接と同様である。ふつうの炭酸ガスアーク溶接では短絡移行でなければ溶接が困難である立向溶接がエレクトログスアーク溶接で可能であるのは、溶接の進行方向は立向であるがワイヤは下方に向いており溶滴は上から下へ移行しており下向溶接と異なるところがないからである。このことは下向溶接と同様の大電流を流せることであり本溶接法が高効率である一因になっている。

3. 溶 接 機

現在エレクトログスアーク溶接機としては ARCOS 社の Vertomatic-G が市販されている。写真 1~2 は Vertomatic-G 溶接機である。溶接ヘッドは二本の平行なガイドレールによって継手に沿って移動する。ヘッドにはキャリッジ、上進装置、ワイヤリール、ワイヤ送給モータ、ワイヤおよび銅当板の案内装置、水平運動のた

写真-1 Vertomatic-G 溶接機

写真-2 Vertomatic-G 溶接機ヘッド部

めのメカニズムならびに調節および制御用一切の電気装置を内蔵している。オペレーターは、手動装置によって溶接条件のいかににかかわらず、自由にアークの位置を調整することができるようになっている。ガイドレールをつぎ足すことによって、施工物の長さに応じ溶接がおこなえるので、機械による溶接の長さの制限はない。本溶接機には図-3 に示すように被溶接物を固定すること

図-3 溶接機の被溶接物への取付法

ができる特徴がある。もちろん被溶接物が小さければ溶接機を適当な台の上に固定しておき、被溶接物のほうを

溶接機のところへもっていくこともできる。ワイヤは溶接ヘッドのワイヤ送り装置により、彎曲したノズルをとおして送りだされる。このノズルの位置は、継手の位置に対して前後、左右、上下のいずれの方向にも調節できるようになっている。水冷された銅当板は、スライド付きの支持腕によって溶接すべき板面に弾性をもって押しあてられているので、たとえ板が波打っていても、つねに板面と正しい接触を保つことができる。この支持腕はさらに溶接ヘッドをも支えており、したがって板が膨らんでいるような場合でも、電極の位置は水平運動の有無にかかわらずつねに正しく保たれる。銅当板の上部には溶融池を覆うための炭酸ガスの出口があり、また銅当板にはこれを被溶接物に締めつけたとき、物体にあたる個所の上下方向に小さな孔があいており、溶接中炭酸ガスをこの孔から流し、まわりの空気が溶融池に浸入することを防ぐようになっている。電極の水平往復運動は、最小 10 mm 以上で種々調節でき、運動の各折返し点では、適当な停止時間が得られるようになっている。Vertomatic-G 溶接機は、溶接電源としてシリコン整流式直流溶接機 ARCOS G-700 (写真-3) を使用する。本機は作動電圧 40 ボルト、連続定格出力 700 アンペアである。

写真-3 ARCOS G-700 直流溶接機

4. 溶接施工法

溶接前の準備、溶接方法はエレクトロスラグ溶接とはとんだおなじである。ただエレクトロガスアーク溶接は、エレクトロスラグ溶接の電流の抵抗発熱を利用する方法と異なり、アーク溶接であり、溶接開始点でも定常状態と同じように溶けこむのでスラグ溶接のときに使用するような底部あて板はとりつけなくてもよい。溶接による角変化はエレクトロスラグ溶接と同様に一層溶接であるのでほとんどない。しかし横収縮量はこれもエレクトロスラグ溶接同様かなり大きく、終点の頭部で最大となり、始点の底部で最小となるので、始点と終点との開先間隔に差をつけておく必要がある。横収縮量の一例を図 4 に示す。

エレクトロガスアーク溶接の標準的な溶接条件を表-2 および表-3 に示す。表-2 は ARCOS の複合ワイヤを使用する場合で、溶接電流および電圧は板厚にほとんど関係なく一定で、溶接速度が板厚の増加にしたがいおそくなっている。いっぽう表-3 は裸ワイヤを使用する場合で、板厚の増加にしたがって電流を増加させ、厚板のときの溶接速度の低下を少なくしている。

図-4 エレクトロガスアーク溶接における横収縮量

表-2 アーコス複合ワイヤを使用するときの溶接条件

板厚 mm	ワイヤ径 mm	継手間隙 mm	溶接金属 kg/m	ワイヤ 消費量 kg/m	溶接電流 A	溶接電圧 V	溶接速度 (上昇速度) m/h	溶融速度 kg/h	往復運動 の振巾 mm	往復運動 の時間 sec.	往復運動 の休止時間 sec.
10	2.8	15	1.4	1.55	480	30	6.7	9.4	—	—	—
15	3.2	15	2.0	2.2	580	30~32	5.7	11.4	—	—	—
20	3.2	16	2.75	3.0	600	32~34	4.7	13.0	—	—	—
25	3.2	17	3.6	3.9	625	34~36	4.0	14.4	5	2	2.2
30	3.2	17	4.25	4.6	650	34~36	3.6	15.3	10	2	2.0
35	3.2	18~20	5.5	6.0	650	34~36	2.8	15.3	15	2	1.8
40	3.2	18~20	6.25	6.8	650	34~36	2.4	15.3	20	2	1.6
45	3.2	18~20	7.1	7.7	650	34~36	2.2	15.3	25	2	1.4
50	3.2	19~21	7.75	8.4	650	34~36	2.05	15.3	30	2	1.2
55	3.2	19~21	8.9	9.8	650	34~36	1.85	15.3	35	2	1.0
60	3.2	19~21	9.65	10.6	650	34~36	1.6	15.3	40	2	1.0

表-3 裸ワイヤを使用するときの溶接条件

板 厚 mm	ワイヤ径 mm	溶接電流 A	溶接電圧 V	ワイヤ 供給速度 m/min	溶接速度 (上昇速度) cm/min
13	1.2	275	34~35	13.5	9
	1.6	400	37~38	10.8	11.5
19	1.6	400	37	10.8	7.5
	1.6	350	35	8.0	5
25	1.6	400	37	10.8	6
	1.6	400	37	11.2	5
32	2.0	500	37	8.3	6.5
	2.0	590	43	10	8
45	2.0	580	43	10	7

注) 継手間隙は板厚に関係なく 12 mm

5. ワイヤおよび送給ガス

5.1 ワイヤ

Vertomatic-G に使用するワイヤは複合ワイヤで表-4 のごとき種類のものが市販されている。ワイヤは包含されているフラックス含有量によって X,Y,Z の記号を付して区別しており、フラックス含有量が多いものから X,Y,Z の順である。Vertomax-1 MG は溶着金属に約 1.3%Mn を、Vertomax-2 MG は約 2.0 % Mn を含ませる意図のものである。Vertomax-1 CMG は Cr 1.5%, Mo 0.6% を Vertomax-2 CMG は Cr 2.5%, Mo 1.2% をそれぞれ含ませた Cr-Mo 鋼のワイヤである。ワイヤと鋼材との関係は表-4 のとおりである。エレクトロガスアーク溶接は複合ワイヤばかりでなく現在市販されている炭酸ガスアーク溶接用の裸ワイヤを用いても溶接をおこなうことができる。

5.2 送給ガス

エレクトロガスアーク溶接に用いる炭酸ガスは通常の炭酸ガスアーク溶接と同様に窒素、水素、水素化合物(水分)などの不純物の少ない JIS 2 種あるいは 3 種のものを必要とする。最近溶接用炭酸ガスとして、とくにこれら不純物の点に留意したものが市販されるようになっている。

表-4 ARCOS 社製 Vertomatic-G 用ワイヤ

ワイヤの名称		適用される被溶接物 mm	ワイヤの径 mm	適用される鋼材
Vertomax-1 MG	X	10~20	3.2 2.5	引張強さ 50 kg/mm ² までのキルドおよびリムド鋼で約 1.3%Mn を目標とする
	Y	20~30	3.2	
	Z	30~60	3.2	
Vertomax-2 MG	X	10~20	3.2 2.5	軟鋼のリムドおよびキルド鋼、結晶粒の粗大な鋼、60 kg/mm ² までの高張力鋼、0°C 以下の高靱性を要求する構造物等約 2%Mn を目標とする
	Y	20~30	3.2	
	Z	30~60	3.2	
Vertomax-1 CMG	—	—	—	耐海水腐蝕性鋼材用で Cr, Mo を含有する
Vertomax-2 CMG	—	—	—	

6. 溶接部の性能

6.1 溶接金属

複合ワイヤの Vertomax-1 MG, Vertomax-2 MG お

表-5 溶接金属化学成分

化学成分 %	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo	Cr
ワイヤの種類								
Vertomax 1 MG	0.08	1.41	0.20	0.040	0.016	Tr	0.01	—
Vertomax 2 MG	0.08	1.51	0.46	0.036	0.016	0.71	0.22	0.04
M - 50	0.09	0.65	0.32	0.021	0.017	—	—	—

表-6 溶接金属引張試験結果

ワイヤの種類	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び GL=50 mm %	絞り %
Vertomax 1 MG	36.5	50.4	32.8	65.0
	35.5	48.0	35.4	67.0
Vertomax 2 MG	49.7	60.0	27.0	62.5
	47.3	61.8	29.4	60.0
M - 50	31.1	47.7	35.8	68.2
	32.0	48.7	35.6	68.2

図-5 Vertomax-1 MG, Vertomax-2 MG を使用した溶接金属の衝撃値 (2 mmV ノッチ)

よび松下電器製の裸ワイヤ M-50 を使用したエレクトロガスアーク溶接の溶接金属の化学成分および機械的性質の一例を表-5, 表-6, 図-5 および図-6 に示す。引張強さは Vertomax-1 MG は約 50 kg/mm^2 を Vertomax-2MG は約 60 kg/mm^2 , M-50 も約 50 kg/mm^2 を示し、衝撃値については Vertomax-2 MG は Vertomax-1 MG にくらべ相当高い値を示している。また同一の裸

ワイヤ M-50 を使用して板厚を変えた場合、板厚が厚くなれば衝撃値は低下し、板厚 40 mm ではエレクトロslag 溶接の衝撃値と大差ないほどで切欠靱性がやはり問題となる。

6.2 溶接熱サイクルおよび母材熱影響部の性状

溶接時の加熱、冷却履歴はエレクトロslag 溶接同様にきわめてゆるやかである。図-7 に板厚 16 mm , 20 mm および 35 mm のエレクトロガスアーク溶接による熱サイクル線図を示す。つぎに熱影響部の引張性質、衝撃値およびかたさを図-8 ~ 図-10 に示す。軟鋼では強度、伸び、および衝撃値はほとんど変化が見られず、かたさは溶接金属-熱影響部-母材となだらかな分布をしている。いっぽう調質鋼の 2H 鋼は、調質効果が一部くずれかかる範囲があり、降伏点およびかたさに顕著に表われている。

図-6 M-50 を使用した溶接金属の衝撃値 (2 mmV ノッチ)

図-7 ボンド附近のエレクトロガスアーク溶接熱サイクル

図-8 熱影響部の機械的性質

図-9 熱影響部の 2 mmV ノッチシャルピー衝撃値 (試験温度 0°C)

図-10 熱影響部のかたさ分布

6.3 溶接継手の機械的性質

Vertomax-1 MG ワイヤを使用した溶接継手は板厚に関係なく $45 \sim 49 \text{ kg/mm}^2$ の強度を有し全部母材原質部から切断している。2H 鋼を Vertomax-2 MG で溶接したものの溶接継手は $60 \sim 65 \text{ kg/mm}^2$ の強度で切断位置はほとんど境界から $5 \sim 20 \text{ mm}$ 離れた母材熱影響部である。曲げ試験は軟鋼、2H 鋼とも表曲げ、側曲げ試験いずれも良好な成績である。図-11にシェンク型両振り曲

図-11 Vertomatic-G による軟鋼溶接継手の疲労強度

げ疲労試験による結果を示すが、疲労強度に関しては溶接金属、熱影響部とも良好な成績である。

以上の結果から軟鋼では板厚が厚くなれば衝撃値が低下する欠点はあるがとくに低温脆性が問題となるもの以外は実用してもよいと考えられる。調質鋼に対しては現状では調質効果のくずれる点が認められ実用化するためには解決せねばならない問題が残されている。

7. 適 用 例

エレクトロガスアーク溶接法で製作されているものとして石油タンクをあげることができる。従来石油タンクは現場において手溶接で施工しており、溶接工の技倆の差異による溶接金属の機械的性質ならびにできあがりの

図-12 自動溶接による石油タンクの製作法

商品価値の不統一の点などでしばしば問題をひき起しており自動溶接化が要望されていた。そこへこの Vertomatic-G 溶接機およびこれも炭酸ガス溶接を利用した Circomatic 溶接機が出現し、長手継手には Vertomatic-G 溶接機を、円周継手には Circomatic 溶接機を用いることにより完全に自動溶接で施工できるようになった。現在米国ではすでにこの方法による石油タンクが50基近く製作されており、わが国でも実用の段階に入っている。図-12に自動溶接によるタンクの製作法を、写真-4および写真-5に Vertomatic-G 溶接機による溶接状

写真-4 Vertomatic-G による石油タンクの溶接 (タンク外面)

写真-5 Vertomatic-G による石油タンクの溶接 (タンク内面)

況を示す。溶接機に覆いをかけているのは風による炭酸ガスの被包が不完全になるのを防ぐためである。石油タンク以外にも使用板厚 $10 \sim 40 \text{ mm}$ で立向溶接施工を行なうような、たとえば造船における船殻のブロック溶接、橋梁のエレクションにもエレクトロガスアーク溶接法の適用が考えられている。

8. 結 言

品質の均一化、生産速度の向上、生産コストの引下げは、生産技術者に課せられた最大の使命であり、あらゆる工業生産は大なり小なりこの目的にそって努力をおこなっている。溶接もこの例にもれない、とくに強度上の問題からすみ肉継手に比しはるかに有利な突合せ継手の溶接を自動化して、均一な継手性能を得ることは工数節減以外にも意義が大であることは言をまたない。とくにオートメ化とはゆかないまでも、生産工程を合理化し工程をより単純化した形のものにするという見地からいって、一個人、一工員に高度の技術の熟練というものを要求する時代は過ぎ去りつつある。したがって上向溶接についてはうら波溶接棒の使用などによる解決策、あるいは将来電磁場を応用した自動溶接法も考えられるであろう。そして立向溶接についてはエレクトロスラグ溶接がこの解決の一步を踏出し、いまここにエレクトロガスアーク溶接により全面的な立向突合せ溶接の自動化の完成をみたのである。

以上エレクトロガスアーク溶接法についてその大要を述べるとともに終りにあたりこれらすぐれた技術を考案し実用化された諸賢に敬意と讃辞を送るものである。

参 考 文 献

- 1) 小林勲, 「Vertmatic-G 溶接機」特殊溶接研究委員会 D 分科会第 7 回資料 No. SW-D-9-62.
- 2) 広田隆夫, 三浦和三, 「Vertomatic-G による溶接について」特殊溶接研究委員会分科会第 7 回資料, No. SW-D-9-62.
- 3) 森島克己, 井上誠一, 片見裕, 「Vertomatic-G による軟鋼溶接結果について」, 特殊溶接研究委員会 D 分科会第 7 回資料, No. SW-D-10-62.
- 4) 「炭酸ガスによる垂直自動溶接」, 愛産ニュース No. 38. (p. 1~3).
- 5) P.C. van der Willigen and J.G. Verhagen, 「Enclosed Welding of steel in CO₂ atmosphere」
- 6) R.P. Iruing, 「Automatic Welding Joint Plate in the Vertical Position」, the Iron Age, 19, (April, 1962), p. 98~99.
- 7) 松下電器産業株式会社, 「CO₂ エンクローズド溶接における溶着部の性質第 1 報」(未発表)
- 8) 稲垣, 「私の見た欧州の印象, その 3. 溶接機材および技術その他(1)」, 溶接学会誌, 30 (1961), No. 3, p. 60~72.

「溶 接」

応用金属学大系 第13巻

関 口 春 次 郎 編著

全525頁, 誠文堂新光社 昭和37年9月新刊, 1,500円

著者が序文にも述べるように、現在きわめて広汎な知識体系をなしている溶接学を局限された頁内に述べることは容易でない。本書は編著者ならびに一部を執筆の仲、小林両教授らの広い学識と長い経験をもとにそれぞれ専門分野を特論的に個性あふれる記述をしているので、溶接に関係する若い研究者や技術者にはきわめて多くの示唆を与えるものと確信する。いっぽう内容はきわめて平易で理解し易いよう注意が払われているので、かならず専門外の人々にも深い興味を与えられるであろう。第 1 章は各種溶接法および切断法として電子線溶接やプラズマジエットの応用など新しい技術までが紹介されている。第 2 章の歪、応力および設計(仲)では溶接熱による収縮、変形、溶接応力、さらに収縮亀裂の生ずる過程を理論的に説き、溶接継手設計ならびにその力学的性質を述べている。第 3 章は溶接の融合、凝固、反応としてとくに著者の独創的溶接用鋼線材や CO₂-O₂ ガス溶接の特性を化学冶金的

に述べ、母材の変質については構造用鋼の冷却状況と組織の関係を著者の開発した溶接用 CCT 図をもとにして利用し易いノモグラフなどの多数の図解で与えている。第 4 章は各種金属材料の溶接では軟鋼や低合金鋼の異方性、脆性破壊等、各種高張力鋼規格や国際溶接会議に提案された構造用鋼についてのいろいろ考え方などの現在の最も新しい知識や、また一般の金属や合金のほか鉛や原子力材料としてのベリウム、ウラン等、また最近ミサイル等に用いられ始めた新しい析出硬化性ステンレス鋼などにもかなりの紙面を充当している。第 5 章(小林)では割れをはじめ各種溶接欠陥と検査方法やとくに溶接研究への X 線回折法の利用例を挙げている。第 6 章は著者が長年研究されてきた強靱鋼や自硬性鋼についての体験を基礎として、溶接割れの発生機構とその防止方法が、他の書物に見られない考え方としてかなり詳細に述べられている。

(田村 博)