高速度写真による MIG 溶接現象に関する研究 (第5報)*

—CO₂-O₂ ガスアーク法の溶接現象—

浮田 勇** 信原貞夫** 小林 弘*** 万木 亨*** 河江武春***

Study on Phenomena of Inert Gas Metal Arc Welding by High Speed Motion Pictures (Report 5)

—Phenomena of CO₂-O₂ Gas Arc Welding—

By ISimm Ukita, Sadao Nobuhara, Hiroshi Kobayashi Toru Magi and Takeharu Kawae

Abstract

The CO₂ gas shielded arc welding in welding of the steel is, recently, being put to practical use. This welding method has some merits and demerits, compared with the other. A demerit of this method is the fact that it tends to produce large amounts of spatter.

We observed the process of metal transference by the high speed motion pictures, and studied on the causes of spatter, then we investigated the ways to eliminate spatter.

The results obtained are as follows:—

(1) The substantial large liquidity of DS-1 electrode wire is a cause for promoting the spatter.

(2) The metal transference is globular type due to the high pressure of gas generated where the carbon dioxide dissociates in the arc column or its surroundings in the high temperature. At that time, the small particles are apt to be ejected either from the transferring globule or from the molten parts of the electrode tip at the instant when the molten droplet of metal detaches the electrode tip.

(3) If the arc is maintained so short that the electrode tip is inserted into the crater of molten pool of the work but it does not touch the work, the amount of spatter is minimized.

(4) The current density of the electrode should be large then the spatter will be decreased because the molten droplet of metal cannot remain long at the electrode tip by the strong electromagnetic pinch force and it cannot grow large.

1. 緒 言

近年鋼の溶接に CO₂ ガスあるいは CO₂ に O₂ を混入したガス中で溶接する方法が実用化されてきた。これは他の溶接法に比較して経済的であるが、被溶接物の種類によっては今後の研究をまつことが多い。特に spatter の多いことも一つの難点である。この spatter は溶接部の周辺に溶着して容易に剝離できない。筆者らは高速度カメラを用いて、この溶接法の溶接現象を観察し、A, N₂ 等のガスをういた溶接現象と比較対照して spatter 生成の原因を考察するとともに、その対策等について検討を加えた。

2. 実験方法および条件

実験は軟鋼板 (厚さ 5 mm) 上にビードを置いて行っ

た。撮影法は前報¹⁾と同様である。心線は 1.6φ および 1.2φ の DS-1 線材と 1.6φ の 18-8 stainless-steel を使用した。また雰囲気ガスとして CO₂, O₂ の他に比較のため A, N₂ の各ガスおよび大気中で行った。Table 1 の条件はそれらの中の代表的なものである。溶接機は Fig. 1 に示すとき特性の MG および三相整流器型の直流溶接機を使用した。

Fig. 1 Characteristics of welder

* 原稿受付, 昭和35年2月15日 (昭和35年度溶接学会春季学術講演会において発表)

** 正員, 姫路工大 Member, Himeji Technical College.

*** 正員, 東亜精機 Member, Toa Seiki Co., Ltd.

Table 1 Welding Conditions

Photo. No.	Film No.	No load voltage (V)	Average arc voltage (V)	Average arc current (A)	Rod feed speed (cm/min)	Welding speed (cm/min)	Atmosphere gases (l/min)				Rod dia. (mm)	Remarks
							CO ₂	O ₂	A	N ₂		
2	1	30	39	325	670	746	20	5	—	—	1.6	Rectifire type
1 (a)	2	30	39.5	373	670	746	20	5	—	—	"	
1 (h)	25	78	42	450	900	680	20	5	—	—	"	
1 (i)	30	32	40.5	405	1500	670	20	5	—	—	1.2	
1 (b)	7	30	39.5	375	670	680	20	—	—	—	1.6	
1 (j)	9	—	29	380	670	680	—	—	23.6	—	"	
1 (k)	10	22	32	370	670	750	—	5	20	—	"	
1 (l)	11	23	35	375	670	750	—	10	15	—	"	
1 (m)	15	26	35.5	360	670	750	—	18	7	—	"	
1 (c)	13	24.5	35	395	670	750	5	—	20	—	"	
1 (d)	15	28	36.6	390	670	750	20	—	5	—	"	18-8 Stainless steel
1 (e)	12	29	38.5	385	670	750	20	5	—	—	"	
1 (f)	27	34	42	380	640	670	—	—	—	25	"	
1 (g)	8	—	—	430	670	680	—	—	—	—	"	air
3	5	32.5	44	535	670	760	20	5	—	—	"

(a) CO₂+O₂ (25%) (2800f/s) (b) CO₂ (2370f/s) (c) CO₂+A (75%) (2740f/s) (d) CO₂+A (25%) (2740f/s) (e) CO₂+O₂ (25%) (2640f/s)

Photo. 1 Effect of shielded gases on arc and metal transference.

3. 溶融粒子移行現象

Photo. 1 は種々の条件における典型的な移行状態を示す。また対照のため、A, N₂を用いた場合や、大気中におけるものも掲げた。

CO₂-O₂ 法における粒子移行は従来 spray 移行と思われていたむきもあるが、筆者らの実験した範囲の電流密度では globular 移行である。したがってアルミニウムの場合のごとく、電流密度がある値の範囲を越すと急激に移行粒子が小さくなり、globular から spray に変るというようなことはない。しかし電流密度を大きくするほど移行粒子は小さくなる。また CO₂ ガスのみの場合と O₂ を 25% 混入した場合を比較すると、実際に溶接してみれば spatter は O₂ を混入したほうが多少少く、またビード外観もきれいでスラッグの剝離もよいが、筆者らの実験した 100 ft フィルムで 2～3 秒間の現象を撮影する高速写真においては、あまり大差は認められなかった。

A 中に O₂ を混入すると移行粒子はしだいに大きくなる。これは心線端で、

等の反応を生じ、その反応熱により心線端付近の金属蒸気の放出が多くなり、蒸気やガス

の体積が増すことによって溶粒を上方に押し上げる力が増し、粒子離脱が妨げられるためと考えられる。これは N_2 中においても同様なことが考えられる。しかし O_2 量を70%混入した場合は心線端は(1)式等の反応がますます盛んとなり、ちょうど湯が沸騰するとき様相を呈するが、生成粒子はあまり大きくはならない。けれどもA中に CO_2 を25%加えると生成粒子は急激に大きくなる。また CO_2 のみの場合は最も甚しい。この原因として筆者らは次のごとく考えている。文献²⁾によって CO_2 はアーク中あるいはその近傍の高温中で次のごとく解離する。

すなわち1容積の CO_2 が解離によって1容積のCOとOを生ずる。この体積の増加は生成粒子を上方に押し上げ、重力とピンチ力による粒子離脱を妨

Fig. 2 Dissociation of gases.

げ溶粒を大きくするものと思われる。もちろん、(1)式の化学反応に基づくものも関与している。この解離による膨脹圧力は O_2 あるいは N_2 を用いた場合も同様に考えられるが Fig. 2のごとく、 CO_2 は O_2 , N_2 に比較するとはるかに解離度が大きく、 CO_2 の場合にこの影響が大きく現われる。Photo. 1の(a), (b), (c)等がそれらを示す。結局、この CO_2 , O_2 , N_2 等はAと異なり活性であることに原因しているから、 CO_2 あるいは CO_2+O_2 ガスアーク法における粒子移行は本質的に globular であって spray にはなり難い。

4. Spatter 生成の原因

1. 心線の流動性

炭酸ガスアーク溶接用線材 DS-1 は脱酸剤 Si, Mn を多量に含有する線材であって、元来溶着金属の脱酸性が大きく、熔融金属の流動性が大であるが、さらにアーク雰囲気中に酸素が存在するため、心線先端や移行粒子および溶池の温度が高いため流動性が倍加される。雰囲気中に O_2 の多いほどこれは大であることは、 $A+O_2$ (20%), $A+O_2$ (40%), $A+O_2$ (70%) の各場合の生長粒子

の形状から明らかに認められる。流動性が大きいと移行粒子は球状とならず、絶えず複雑に変形しながら移行しその一部から小粒子を放出することもある。また移行粒子が溶池に落下したときの反動で溶池が動揺し、spatter を放出し易い。心線に 18-8 stainless-steel を用いた場合は流動性が小さく、これに基づく spatter も少い。

2. 化学変化によるガス圧

本溶接法においては前述のごとく spray 移行ではなく globular 移行であって、粒子の形状は凹凸のある非常に複雑な塊状である。しかも離脱までに Photo. 1 (a)~(e)のごとく必ずビード方向（溶接方向と反対）に偏る。そしてこの大きな塊状の粒子が重力およびピンチ力により心線から離脱すると、その反動で粒子および心線端が動揺し、小粒子の飛散を生ずる。そしてこれは本溶接法の spatter の大部分を占めている。心線端からの微小粒子の飛散は生成粒子の偏った方向と反対側、すなわち溶接方向

に生ずるのは当然である。photo. 2 はこの状態を示す。この塊状の生成粒子と、一方向に偏る原因として筆者らは前述の (2) 式の CO_2 の解離によるガス圧のためと考えている。Fig. 3 はその説明図である。なおこれは母材の給電方向のとり方には関係なかった。

この生成粒子の一方向にかたよるのは Rothschild²⁾の指摘するごとく溶池からの蒸気放出による力とともに、心線端からの金属蒸気放出によるジェット作用もあざかるごとく思えるが、 $\text{A} + \text{O}_2$ の場合には金属蒸気の放出が多いにもかかわらず粒子は CO_2 の場合のごとく一方向にかたよらない。このことから考えてジェット作

Photo. 2 Spatter in opposite direction of molten mass. (1670f/s) (2640f/s)

Fig. 3 Gas pressure of dissociation.

用よりも (2) 式の解離によって生ずるガス圧が大きく作用するものと思われる。そしてこのことは母材を移動せず溶池の形状を壺状の対称形にしてアークを生ぜしめたとき、生成粒子が上のごとく一方向にかたよらず、心線軸に関して対称になることから、溶池の形状が関係していることが確かめられた。この粒子の一方向にかたよる傾向は電流密度の比較的小さい場合に大であって、電流密度の大きい場合はピンチ力が大きく、粒子は心線から離脱しやすくなってその形も小さい。Photo. 3 は 1.6 φ 心線で 535 Amp. (280 A/mm^2) の場合であって、粒子はビード方向に塊状をなしてかたより難い。

また心線の電流供給点より突き出た部分（以下突出部という）のジュール熱に基づく発熱も粒子の大きさに関係する。すなわち心線端はアーク熱の他に心線の抵抗により温度上昇し、心線の突出部は溶粒の温度に近い温度になっている。したがってアルミニウムの場合のごとく、アーク発生点の温度が心線の突出部に比較してはるかに高くして溶融すれば生成粒子は小さいが、本法の場合はアーク発生点の溶融部が心線の上方に容易に拡がり粒子を大きくする。また粒子が心線を離れるまで、あるいは移行中においても (1), (2) 式等の変化が起るため、その圧力により粒子は刻々に変形し複雑な凹凸を生じている。これらの状態は高速度写真撮影により明りように観察しうるが、ちょうどアルミニウムの DCSP の場合における心線端の清浄作用に似た様相を呈する。そしてこの生成粒子の変形は流動性の大きさと相まって spatter の大きな原因となっている。

3. 短絡移行

小電流においては他の溶接法に比較して本溶接法では、元来 globular 移行であるのと、 CO_2 中ではアーク電圧が高いのでアークは不安定である。したがって 1.6 φ 心線では 200 Amp. 程度が溶接可能な最低電流で、それ以下では粒子は短絡移行する。電源に上昇特性の MG を用いたときは短絡電流が大きく、爆発的な小粒子の飛散を生ずる。整流器型のはこれが多少少ないようである。また 2 で述べたごとく細長い塊状の移行粒子は伸縮しながら移行するが、その上部が Fig. 4 のごとくふたび心線端に接触すると、瞬間短絡あるいはアークの転移によって大電流が粒子を通るため、接触部から小粒子の飛散を生ずる。これは電流のかなり大きい場合にも認められる。

Fig. 4 Spatter due to retouching of transferring globule.

5. 結 言

炭酸ガスアーク溶接法のアーク現象および spatter の

発生原因は以上のように考察されるが、この spatter の軽減対策については次のごとく考える。1で述べた心線の流動性の大きることに基づくものは、Si, Mn の量が溶接部の冶金の性質上変化できないものとすれば、熔融金属の流動性は大きいから spatter は軽減されない。しかし2で述べた解離や化学反応によるガス圧に基づくもの、あるいは3の短絡によるものは Rothschild²⁾の指摘する通り、アーク長を短くし、Fig. 5に示すように心線先端が溶池の壺に突込

んでいるごとくすれば少くなる。すなわち心線端は壁によって囲まれたようになり、心線端あるいは移行中に生じた spatter はこの壁によって外

部への飛散を妨げられる。また spatter 発生の原因が生成粒子の大きな塊状で一方向にかたよることによるのであるから、塊状となるのは CO₂ を用いる以上仕方がな

Fig. 5 Schema where electrode plunged into molten pool.

いとしても、電流密度を上げて生成粒子が一方向にかたよる余裕を与えないようにすれば spatter は減少する。たとえば 1.6φ で 450Amp. の場合と、1.2φ で 405Amp. の場合を比較すると、後者は前者の約 1.8 倍の電流密度であって生成粒子は後者のほうが相当小さく、フィルムを映写して観察すると spatter はかなり減少することが認められた。これは Rothschild²⁾の指摘する所と反対であるが、筆者らは心線の電流密度を増してピンチ力を大きくしたほうが粒子離脱を早め、spatter を少なくするのではないかと考えている。

以上 spatter の軽減方法としては、アーク長をできるだけ短くするとともに、細い心線を用いて電流密度を高くすることが望ましいといえる。

参考文献

- 1) 浮田, 信順: 溶接学会誌 Vol. 29 (1960) No. 7, 8
- 2) G.R. Rothschild: W.J., 1957 Jan., p. 19
- 3) R.J. Keller: W.J., 1959 Jan., p. 27-S
- 4) 日本化学学会: 化学便覧 p. 750

溶接学会誌投稿規定

(昭和34年4月15日 改正)

1. 原稿の種類 溶接工学または技術に関する
 - i. 論文および報告(掲載論文に対する討論を含む)
 - ロ. 技術資料, 講義解説および翻訳
2. 論文および報告の投稿者は原則として会員とする。
3. 論文および報告はすべて投稿者の創意にもとづき、いまだ他の学協会誌に掲載されたことのないものに限る。
4. 論文および報告は簡単明瞭を旨とし会誌 6 頁を標準とする。
5. 文体は口語体とし、なるべく内閣制定の当用漢字、現代仮名づかいによること、また仮名は平仮名、数字はアラビア数字、適当な邦語がない外国語は片仮名または原語で記すこと。
6. 論文および報告にはかならず欧訳題目および英文摘要(タイプ書 400 語以内)を附すること。なお別に 100 語以内の英文摘要を附すること。

100 語の例

K. Saito: Measurement of residual stress in small grooveslit type specimens of mild steel.
J. Jap. Wdg. Soc., vol 24, no 6, June 1956, pp. 12-18, 5 fig, 14 phot, 6 table, 9 refer.
7. 図, 写真, 表はなるべく少くし同一事項を図表両方にて表わすことをさけ、次の要領に従うこと。
 - i) 挿図はなるべく会誌 1/2 面以内(幅最大 140 mm)に縮少し得るよう。文字および線の太さに注意し挿入の箇所をあらかじめ原稿に指定のこと。
 - ii) 図はそのまま、縮尺しうるようなるべくトレーシングペーパー, オイルペーパー, トレーシングクロスまたは青野方眼紙などに墨色で記入し図中文字を墨書すること。またインキ類あるいは彩色を施さないこと。
- iii) 図表および写真はかならず欧文としその内容を表示する簡単な欧文見出しをつけること。ただし翻訳資料に関しては和文とすること。
8. 小数点は数字の中央, 3 桁以上の数字は 3 桁ごとに、コンマにて区切ること。(例: 12, 345, 678. 9)
9. 名数は次のごとく記し () 内のごとき書き方をさけること。

km (米), 78.9 円 (七十八円九十銭)
1959 年 3 月 17 日 (千九百五十九年三月十七日)
10. 単位は特別の場合を除きメートル式により例えば下記のごとく記すこと。

キロメートル...km リットル.....l
キログラム...kg 平方キロメートル...km²
毎平方センチメートル・キログラム...kg/cm²
温度(摂氏)...°C トン.....t
11. 脚註または引用の場合は右肩に小さく「」のごとく記すこと。
12. 引用文献は著者名, 題目, 雑誌名, 巻(年), 号, 頁の順に記す。
例: E.F. Nippes, "The Weld Heat-affected Zone", W.J., Vol. 38 (1959), No. 1, 1 s-18s.
13. 勤務先に欧文名を附記すること。
14. 掲載原稿に対しては希望に応じて実費にて別刷を提供する。別刷を希望する場合は投稿の際その旨申込むこと。
15. 原稿は編集の際に取捨修正することがあるからあらかじめ諒承せられたい。
16. 原稿の送付は東京都千代田区神田佐久間町 1 ~ 11 「溶接学会編集委員会」宛のこと。