MIG アークにおける芯線の熔融と熔滴の移行 (その 3)*

— 自己制御性に関する一考察 —

内 田 彰**

Melting of Electrode Wire in MIG Arc and Transfer of Metal Drops (Report 3)*

— A Consideration of the Self-regulating Characteristics of MIG Arc —

By A. Uchida**

Abstract

The self-regulation in MIG arc is known to be resulted from three factors, i.e. (1) intrinsic self-regulation, (2) effect of power source characteristics, and (3) Joule's heat by electric resistance of wire. In this paper, they are considered theoretically and formulated in rather general standpoint. Then, especially of stainless steel (308) electrode wire, calculated values of parameters defining self-regulation are given and discussed.

1 ま え が き

MIG 溶接が機構的に可能であった理由は、いわゆるアークの自己制御性が存在するためと考えられてきた。しかし最近のかなり多くの研究からみると、無条件にそういうことはやや問題があるように思われる。特に固有自己制御性 (Intrinsic Self-regulation) と称せられたものは量的に比較的小さいもので、速い溶接を行うときには、それだけでは決して充分でないことが明かになったといえるであろう。自己制御性の中にはこの外に、溶接機の出力特性の効果によるもの、溶加線材の抵抗熱による作用などのあることが判っていて、多くの論文や報告が出されてきたが、これらは一つの見地にもみ立って、それらをまとめて考えたようなものがやや欠けているように思われる。本文はこのような点について少しばかりの簡単な考察を行ったものであるが、先ず出発点として、比較的初期に最も基礎的かつ組織的に行われたと考えられる、Muller 等の研究¹⁾について次に略述したい。

2 Muller, Greene, Rothschild の研究

Muller 等はアークの自己制御性を評価するためには、被溶接物の表面の位置をガンに対して垂直方向に変化させたときの電極先端の相対運動すなわちレスポンスを測定すればよいと考えた。

彼等は自己制御性の原因はともかくとして、芯線の先端位置の補償率 (元にもどる速さ) が、その平衡位置からの

変位に比例すると仮定した (Fig. 1)。すなわち、

$$\frac{dx}{dt} + \frac{1}{T}x = 0 \dots (1)$$

x …変位, $1/T$ …

比例常数,

もし下板が振巾 A , 周期 f の sine 振動をうけるなら運動方程式は、

$$\frac{dx}{dt} + \frac{1}{T}(x - A \sin 2\pi f t) = 0 \dots (2)$$

この解は、 $x = RA(\sin 2\pi f t - \arctan 2\pi f T) \dots (3)$

$$R = \frac{1}{\sqrt{1 + 4\pi^2 f^2 T^2}} \dots \text{相対振巾 (レスポンス)} \dots (4)$$

$\arctan 2\pi f T$ …位相おくれ

パラメーター T に種々の値を与えることにより f の変化に対する R の変化を与える理論曲線が得られる。(Fig. 2)。またいくつかの f に対する R を実測しこの曲

Fig. 1
Illustrating diagram of
arc length stability

Fig. 2 Theoretical curves of response after Muller

* 原稿受付 昭和32年12月25日 (昭和33年度溶接学会春季学術講演会において発表)

** 正員, 鉄道技術研究所 Member, Railway Technical Research Institute.

線と合わせることによって実際における T の値を測定することができる。試験された振巾は $\frac{1}{4}''$ で振動数は $0.2 \sim 1.6$ c/s であったが、彼等の結果は次の如くである。

アルミニウムの場合には制御特性は使用した範囲の線径および電流密度では、それらに本質的には関係しない。3つの異なるアーク長および2つの異なる開路電圧の電源に対して測定が行われたが、それらがレスポンスに影響する主要要素であることが明らかになった。彼等の与えている測定曲線を Fig. 2 に比較して、対応する T の値を求めて Table 1 に示した。

Table 1 The Values of Time Constant of Self-regulation from Muller's Experiment (Al-2s)

Arc length	Open circuit voltage	T
1/8"	95 volt	0.4
1/4"	"	1.25
"	50	0.45
1/2"	95	1.75

ところが、ステンレスにおいては以上と異り、レスポンスの最大値が40%であった。よってこの場合理論曲線と測定値を合わせるためには(4)式の R にある一定数 A' ($0 < A' \leq 1$) を掛ける必要が生じたが、これはこの合金に対してはコンタクトから先に突出した芯線部の抵抗加熱が無視し得ないからであるとした。この場合 (1) 式の $1/T \cdot x$ にかわって、 $\alpha x_{\text{arc}} - \beta x_{\text{terminal portion}}$ とすることが出来る。さらに $\alpha = A'/T$, $\beta = (1 - A')/T$ と書き換え、また $x_{\text{terminal portion}} = -x_{\text{arc}} = -x$ とすることが出来るから、下板に sine 振動をあたえた場合 (2) 式に代るものとして、

$$\frac{dx}{dt} + \frac{A'}{T} (x - A' \sin 2\pi f t) + \frac{1 - A'}{T} x = 0$$

$$\text{すなわち, } \frac{dx}{dt} + \frac{1}{T} (x - A' \sin 2\pi f t) = 0$$

$$\text{従ってレスポンスは, } R' = \frac{A'}{\sqrt{1 + 4\pi^2 f^2 T^2}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

と表すことができる。

以上から明かなように A'/T はアーク長の変化に伴う熔融速度の変化 (固有自己制御性および電源特性の効果) であり、 $(1 - A')/T$ は芯線の突出長さの変化に伴う変化 (抵抗効果) によるものであるが、これ等に対し各種金属に

Table 2 Effect of Wire Resistance of Various Metals on the Self-regulation (after Muller and Others)

Electrode material	Resistivity (°C)	$(1 - A')/T$	A'/T
Copper	10.4	0	1.29
Aluminium (2s)	17.6	0	0.806
2%Mn-Steel	60	0.556	0.556
8%Al-92%Cu	210	0.572	0.859
Stainless steel (316)	440	1.83	0.836

について Muller 等の与えた結果は Table 2 の如くである。

以上が彼等の研究の要点であるが、これで明かなように自己制御性は次の三つの要素からなる。

- (1) 固有自己制御性 (intrinsic self-regulation)
- (2) 溶接機の出力特性
- (3) 抵抗効果 (Joule 熱効果)

3 アークの制御性についての一般的取扱い

メタルアーク溶接において、一定の電極、雰囲気および溶接速度が与えられた場合、溶接結果に影響する主なアーク変数は溶接電流、アーク長および電極の熔融率であって、これらはまたいくつかの外的条件によって与えられる。いま Fig. 3 に従って外的変数と内的変数とを分けて考える。

Fig. 3 Illustrating diagram of welding circuit and head

外的変数

- (1) h ……ガンの高さ
- (2) V_0 および p ……溶接機の開路電圧ならびに溶接機の電圧電流特性の勾配 (簡単のため直線的な場合だけ考える。すなわち短絡電流を I_s とすれば $p = -V_0/I_s$, ただし正しくは動特性をとる必要がある)。
- (3) R_f ……溶加電極線の送り速度

内的変数

- (1) I または V ……溶接電流または溶接電圧 ($V = V_0 + pI$)
- (2) l_a または l_r ……アークの長さまたは電極線の突出長さ ($l_r = h - l_a$)
- (3) R_b ……溶加電極線の熔融速度 (平衡状態では $R_b = R_f$)

外的変数は当然すべて独立変数であるが、実際に安定なアークが可能であるためにはそれは無制限でなくある条件範囲に限られる。また内的変数の内 R_b は独立でなく他の内的変数 I , l_a , l_r 等の函数である。すなわち、

$$R_b = R_b(I, l_a, l_r)$$

従ってその微小変化は次式で与えられる。

$$\delta R_b = \left(\frac{\delta R_b}{\delta I_a} \right)_{I_r, l_r} \delta I_a + \left(\frac{\delta R_b}{\delta I} \right)_{I_a, l_r} \delta I + \left(\frac{\delta R_b}{\delta l_r} \right)_{I, I_a} \delta l_r, \dots \dots \dots (6)$$

平衡条件では $R_b = R_f$ が成立っていねばならず、この条件が外的変数に制限を与えるわけである。雰囲気が一固定であれば熔接電圧はアーク電圧 V_a と電極線の抵抗降下 V_r の和でそれぞれ I_a および I_r と I の函数である。(導線の抵抗は考えないことにする)。

$$V = V_a + V_r = V_a(I_a, I) + V_r(I_r, I)$$

故にその微小変動は

$$\delta V = \left(\frac{\delta V_a}{\delta I_a} \right)_I \delta I_a + \left(\frac{\delta V_a}{\delta I} \right)_{I_a, I_r} \delta I + \left(\frac{\delta V_r}{\delta I_r} \right)_I \delta I_r, \dots \dots \dots (7)$$

$$\left. \begin{aligned} &\text{で与えられる。いま、} R_b = \alpha(I) + \beta I + \gamma I_r I^n \\ &V_r = \gamma' I_r I^{n-1} \text{ ただし } \gamma' = \alpha d q J \gamma \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

(α …線の断面積、 d …密度、 q …線材の 1g を溶かすに要する熱量、 J …熱の仕事当量) で表わせるものとし²⁾、またアークの電位勾配を E 、一定長のアークの電圧電流特性の勾配を p' とすれば、(6)、(7) は次の如く表すことができる。

$$\delta R_b = \alpha \delta I_a + (\beta + n \gamma I_r I^{n-1}) \delta I + \gamma I^n \delta I_r, \dots \dots \dots (6)'$$

$$\delta V = E \delta I_a + \{ p' + (n-1) \gamma' I_r I^{n-2} \} \delta I + \gamma' I^{n-1} \delta I_r, \dots (7)'$$

次にアークの安定性を考えるのに、条件変化の与え方として以下の三通りに分けて考えることができ、またおののところに記したような関係がある。

(1) V_0, R_f が一定、 h が変動

$$\delta h = \delta I_a + \delta I_r, \delta V = p \delta I, d(\delta I_a)/dt = \delta R_b$$

(2) h, R_f が一定、 V_0 が変動 (簡単のため p は変らないものとする)

$$\delta I_a = -\delta I_r, \delta V_0 = \delta V - p \delta I, \alpha(\delta I_a)/dt = \delta R_b$$

(3) V_0, h が一定、 R_f が変動

$$\delta I_a = -\delta I_r, \delta V = p \delta I, d(\delta I_a)/dt = \delta R_b - \delta R_f$$

これらに応じてアークの制御性に関係がある量を記号をもって記せば次のようになる。

$$(1) \left(\frac{\delta I}{\delta h} \right)_{V_0, R_f}, \left(\frac{\delta I_a}{\delta h} \right)_{V_0, R_f}, \left(\frac{\delta R_b}{\delta h} \right)_{V_0, R_f},$$

$$(2) \left(\frac{\delta I}{\delta V_0} \right)_{h, R_f}, \left(\frac{\delta I_a}{\delta V_0} \right)_{h, R_f}, \left(\frac{\delta R_b}{\delta V_0} \right)_{h, R_f},$$

$$(3) \left(\frac{\delta I}{\delta R_f} \right)_{V_0, h}, \left(\frac{\delta I_a}{\delta R_f} \right)_{V_0, h}, \left(\frac{\delta R_b}{\delta R_f} \right)_{V_0, h},$$

以上は一応一般的基礎に戻ってどったが、われわれとしては実用的意義のある点についてだけ考えればよい。従来の研究におけるアークの自己制御性というのは主としてアークの長さだけの安定として取扱われてきているが、手動式のガンを操作する場合などにその難易を最も左右するものがアークの長さの安定であるためと考えられる。次に前節に述べた 3 つの要素について式に従って量的ならび

に物理的に検討する。

4 固有自己制御性

これは (6) 式の第 1 項すなわち $(\delta R_b/\delta I_a)_{I_r, l_r}$ にあって、しばしば intrinsic self-regulation と呼ばれているものである。Muller 等³⁾ や Wooding⁴⁾ は電流を一定にし、

アーク電圧を変えたときの熔融率の変化を与えている (Fig. 4)。

前者の結果では、例えば 1/16" ϕ AI で 240A

のとき、20V 以下では $\delta R_b/\delta V_a$

が ~ 0.7 cm/sec/V であるに

対し、25V 附近では ~ 0.07 cm/sec/V 程度になっ

ている。他方第 2 節の文献で

1/8" アークでは 0.2c/s における

レスポンスが約 88%であったの

に対して 1/4" と 1/2" アークでは

それぞれ 55%40%であった。いま熔接機

の特性の効果や抵抗効果をないものと考えれば、

$$\begin{aligned} -\left(\frac{1}{T} \right)_{\text{intrinsic}} &= \left(\frac{\delta R_b}{\delta I_a} \right)_I = \left(\frac{\delta R_b}{\delta V_a} \right)_I \left(\frac{\delta V_a}{\delta I_a} \right)_I \\ &= E \left(\frac{\delta R_b}{\delta V_a} \right)_I \end{aligned}$$

である。 E は正しくは一定値ではないが、かりに 6V/cm と見積れば、 $-(1/T)_{\text{intrinsic}}$ が短いアークに対しては 4.2 sec^{-1} 、長いアークに対しては 0.42 sec^{-1} となる。すなわち短いアークで、また短くなる方向に対しては固有自己制御性は相当大きい、長いアークではそれはアークの操作を容易にするには到底充分ではない。これは垂下特性の大きい熔接機を用いたとき burn back の起り易いという経験と一致する。

Wooding (Fig. 4 (b)) は R_b と V_a の関係を直線的にあたえており、これによると 1/16" ϕ AI, 180A で $\delta R_b/\delta V_a \sim -0.1$ cm/sec/V となるが、これは細かくいえば正確なものではないと思われる。筆者の実験では (第 1 報)⁵⁾ 20V 以下では通常溶滴によるアークの短絡が起っており、

Fig. 4 Relation between burn-off-rate and arc voltage

この状態では $\delta R_b/\delta V_a$ は相当大きくなるが、短絡の起らないときすなわち 22V 以上では大体 Muller 等と同程度の値 ($\sim 0.07 \text{ cm/s/V}$) と推定される。軟鋼の手溶接の場合も (DCSP) アークが短くなって溶滴短絡が起るようになると熔融率が増加することが認められている⁹⁾。

安藤博士⁷⁾ は 5% 酸素入りアルゴン中の鋼電極アークにおいて、後に述べるような抵抗効果を区別するために電極線の突出部の長さが同じであるようにして、長いアーク (33V) と短いアーク (25V) を比較された結果熔融速度の差は約 6.5% であった。径 2.4 mm, 400A で、熔融率が約 4.3 cm/sec であるから $\delta R_b/\delta V$ は 0.035 cm/sec/V 程度になる。

次にこのような intrinsic self-regulation の原因としては従来は熔融池からの輻射熱があげられていた⁸⁾。しかし安藤博士⁹⁾ はそれだけでは量的に充分説明し得られないことに着目して、短いアークではアーク流が電極の下方に集中して密度が高くなり、従って電極電圧降下も大きくなり、そのために熔融率が増加するという考えを出された。しかしまた筆者等も指摘したように⁵⁾、そのような短いアークでは通常溶滴による瞬間短絡が起ることが認められるから、これが考慮されるべきであると考える。

5 溶接機の特性による効果

(6), (7) 式において抵抗効果がないものとすれば、

$$\delta R_b = \left(\frac{\delta R_b}{\delta I_a} \right)_I \delta I_a + \left(\frac{\delta R_b}{\delta I} \right)_{I_a} \delta I \dots\dots\dots (9)$$

$$\delta V = \left(\frac{\delta V_a}{\delta I_a} \right)_I \delta I_a + \left(\frac{\delta V_a}{\delta I} \right)_{I_a} \delta I = E \delta I_a + p' \delta I \dots\dots\dots (10)$$

いま外部から電流を変動するような原因がなく、 δI はアークの長さの変動 δI_a に伴うもののみとすれば

$$\delta I = \frac{1}{p} \delta V = \frac{1}{p} [E \delta I_a + p' \delta I]$$

よって (9) 式より

$$\left(\frac{\delta R_b}{\delta I_a} \right)_{V_0} = \left(-\frac{1}{T} \right) = \left(-\frac{1}{T} \right)_{\text{intrinsic}} + \left(\frac{\delta R_b}{\delta I} \right)_{I_a} \frac{E}{p - p'} \dots\dots\dots (11)$$

たゞし p, p' は垂下特性の場合は負、上昇特性の場合に正である。 E, p' はシールドガスおよび電極線の種類によって与えられる。 $(\delta R_b/\delta I)_{I_a}$ は線材の断面積におおよそ反比例する。そこでこの第 2 項を大きくするために $(p - p')$ を小さくすること、すなわち溶接機出力特性として定電圧特性またはアーク特性に近い上昇特性のものを使うことの有利については最近多数論じられた。^{10), 11), 12)}

いま $1/16'' \phi \text{ Al}$ 線のアルゴンアークの場合を例として考えると、 $(\delta R_b/\delta I)_{I_a} \sim 0.04 \text{ cm/sec/A}$, $E \sim 6 \text{ V/cm}$, $p' \sim 0.05 \text{ V/A}$, そこで p に種々の値をあたえると $1/T$ は Table 3

Table 3 Relation Between the Power Characteristic p (=inclination of voltage-current curve) and the Self-regulation (Al $1/16''$, $p=0.05$, $E=6$)

$-p$	$-\frac{1}{T} = 0.42 + 0.04 \frac{6}{p - 0.05}$
0.08	2.27
0.1	2.02
0.2	1.38
0.4	0.95
0.6	0.79

のようになる。これを Muller 等の Table 1 における $1/4''$ アークの開路電圧 95V, 50V の結果と比較すると、それぞれ $p = -0.6, -0.08$ に対応する。諸数値が完全に妥当ではないとしてもこの p の値の相対的開きは、開路電圧から考えられるより大きすぎるように見えるが、これは例えばローゼンベルヒ型溶接機のように出力特性が直線的でないか、または動特性が静特性のそれとかなり異っていることによるのではないかと想像される。また定電圧特性のときは電源特性の効果が固有自己制御性の 10 倍以上になり、上昇特性を用いれば可能性としては無限大になり得るわけである。

さて前にも記したように、アークの手動による操作の容易のため、従来自己制御性としてはアーク長の安定だけが考えられている。そして定電圧型あるいは上昇特性の電源を使用することにより、これが極めて楽になったことは事実である。しかし溶接の質をきめるのはアーク長のほかにアーク電流、熔着率等であって、前の式からそのまま判るように、そのような電源ではこれらの変化が大きくなる筈である。従って特に高速度でガンを自動的に機械送りをする溶接の場合には、アーク長の安定というだけで完全な溶接が得られるかどうか若干の疑問もあり、少くとも熔加電極線の送り速度をできる限り一定にし、また線材のたわみなどを無くすることが（これは溶接線がはづれないためにも）極めて肝要と云うべきであろう。

6 抵抗効果

抵抗効果については初めの Muller 等の研究の中にも少し含まれていたが、ガンと被溶接物の表面の距離を変動させたときのアーク長の変化を考えるようなときには、抵抗効果は全体として自己制御作用を悪くする。しかし h が一定で例えば線送り速度の小さい一時的変動が起ったようなときのアーク長の変化の割合を考える場合には、抵抗効果は前の二つの効果と加算されて自己制御能がよくなることになる。

電極の熔融率に抵抗効果のあることは古くから知られている。自動溶接の場合に最近これを詳しく研究したのは、例えば Wilson 等¹³⁾ および筆者等²⁾ である。しかしそれ

がアークの制御性に及ぶ影響までは論じていない。

安藤博士⁷⁾は 2.4 mm 鋼線電極, 5%O₂ 入りアルゴン気中のアークにおいて, ガンと板との距離を一定にし, 33 V (長いアーク) と 25V (短いアーク) の場合の熔融率を比較解析された。400A の場合の熔融率を等価電圧で示すとそれぞれ 5.08V, 5.87V (DCRP) で, その差 0.8V(15%) の中, 電極線の突出距離の増加 9 mm による抵抗電圧降下が約 0.45V (8.5%), アーク長の短いことによる増加が約 0.35V (6.5%) であった。すなわち軟鋼の場合でも前者の影響 (抵抗効果) は後者の影響 (固有自己制御性) を上回るものであることが示された。

いま電極線の熔融率が第 2 節 (8) 式で表わされるような場合を考える。第 3 項が Joule 熱によるものを示しており, n は 2 に近い値である。 γ は実験で求められるが, もし適当な平均比抵抗 ρ を用いれば $1/J \cdot 1/dq \cdot \rho/a^2$ でも与えられる。ただし d は密度, q は 1g を溶かすに要する熱量, a は線材の断面積, J は仕事当量である。

さて Muller 等が実験したような場合を考える。すなわち熔接機の調節と線送り速度を一定にし, 熔接物の表面とガンの位置の相対距離に δh だけの変動をあたえたときアークの長さが δl_a , 電極線突出部の長さが δl_e だけ変化したとすると, このときの熔融率の変化は第 2 節 (6)', (7)' 式で与えられる。いま $\delta l_e = A' \delta h$, 従ってまた $\delta l_a = (1 - A') \delta h \dots (12)$ で再び釣合ったとすれば, A' は Muller に従って振動数零のときのレスポンスである。そこで (7)', (6)' より

$$\delta I = \frac{1}{p-p'-(n-1)\gamma'I_n I^{n-2}} \{ E(1-A') + \gamma'I^{n-1}A' \} \delta h$$

$$0 = \dot{a}(1-A')\delta h + (\beta + n\gamma'I_n I^{n-1})\delta I + \gamma'I^n A' \delta h$$

故に

$$\left. \begin{aligned} \frac{A'}{T} &= -(\dot{a} + KE) \\ \frac{1-A'}{T} &= K\gamma'I^{n-1} + \gamma'I^n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{ただし, } -\frac{1}{T} = \dot{a} + K(E - \gamma'I^{n-1}) - \gamma'I^n \dots \dots \dots (14)$$

Table 4 Calculated Values of Each Constant of Self-regulation for Stainless Steel Electrode (308) at Various Conditions

a 10 ⁻² cm ²	l_r cm	i 10 ³ A/cm ²	I Amp.	$p-p' = -0.2V/A$			$p=0, p'=0.05V/A$			$p-p'=0$		
				$-K$	$1/T$	A'	$-K$	$1/T$	A'	$-K$	$1/T$	A'
0.622 (0.035%φ)	1	16	93.5	.403	4.70	0.66	1.30	10.0	0.94	4.98	31.7	1.11
		20	124	.498	6.59	0.58	1.55	12.3	0.91	5.24	32.4	1.14
		24	149	.608	9.06	0.50	1.87	15.3	0.88	6.06	35.8	1.19
		28	174	.730	12.1	0.44	2.20	18.4	0.85	6.67	37.7	1.25
	2	16	93.5	.598	5.85	0.77	1.65	12.1	0.98	4.00	25.9	1.09
		20	124	.765	8.05	0.70	2.01	14.8	0.97	4.41	27.9	1.12
		24	149	.965	10.8	0.65	2.37	17.7	0.95	5.28	32.0	1.17
		28	174	1.18	14.0	0.61	2.95	21.7	0.96	5.95	34.7	1.21
1.025 (0.045%φ)	1	16	164	.280	4.28	0.53	.991	8.38	0.86	6.46	39.5	1.15
		20	205	.323	5.87	0.44	1.14	10.2	0.81	7.27	42.9	1.20
		24	246	.367	7.80	0.37	1.29	12.4	0.76	8.02	45.7	1.24
		28	287	.413	10.1	0.32	1.45	14.8	0.71	8.82	48.3	1.28
	2	16	164	.411	5.02	0.63	1.32	10.2	0.94	4.95	30.9	1.13
		20	205	.493	6.78	0.55	1.58	12.6	0.90	5.81	35.1	1.17
		24	246	.578	8.85	0.49	1.83	15.1	0.87	6.60	38.6	1.20
		28	287	.667	11.3	0.44	2.10	17.8	0.84	7.44	42.0	1.25
1.98 (1/16%φ)	1	16	317	.145	3.87	0.34	.547	6.08	0.68	6.91	41.1	1.18
		20	396	.163	5.36	0.27	.614	7.69	0.60	7.94	45.5	1.23
		24	475	.181	7.15	0.22	.683	9.58	0.53	9.01	49.9	1.27
		28	555	.199	9.22	0.18	.752	11.7	0.48	10.1	53.6	1.32
	2	16	317	.222	4.31	0.43	.792	7.42	0.79	5.58	33.7	1.17
		20	396	.256	5.84	0.36	.918	9.26	0.72	6.45	37.8	1.20
		24	475	.291	7.68	0.30	1.04	11.3	0.67	7.41	42.2	1.24
		28	555	.327	9.79	0.26	1.17	13.6	0.62	8.44	46.4	1.28

$$K = \frac{\beta + \gamma l_r I^{n-1}}{p - p' - (n-1)\gamma l_r I^{n-2}} \dots\dots\dots (15)$$

(14) 式の右辺は h を変えずに、何かの方法で l_a を変えたとき、すなわち $\delta l_a = -\delta l_r$ のときの全自己制御性であり、Muller に従えば $-1/T$ で表わされたものに相当する。 K が熔接機特性の変数を含む係数となる。

さて第 2 報でのステンレス線の場合の例について、(13) 乃至 (15) 式の数値を求めてみると Table 4. のようになる。ここに δ は適当な測定値がないので、前述の安藤博士の結果により、一律に $-0.3 \text{ sec}^{-1}(0.035 \times (33-25-0.45)/0.9)$ という値を用いた。また E は 7 V/cm 、その他のパラメーターは第 2 報で求められた値とし、また γ 中の q は 263 cal/g として計算した。本表から判るように、ステンレスのような抵抗の高い線材の場合、垂下特性では A' の値が小さく、つまり h の変動に対してアークの長さよりはむしろ電極線突出長さが保存されと考えねばならない。定電圧特性ではこれは改善されるが、電流が大きくなるとやはり充分とはいえない。上昇特性になると A' は 1 より大きくなる。これはガンと被熔接物の距離が減少されるとアークの長さは却って大きくなることを意味し、このことはすでに Lesnewich¹²⁾ 等が定性的に図解をあたえている。また A' の値の立場でのみいうなら線の突出部の長さの長い方が短いときより良好である。

7 む す び

MIG 熔接等のいわゆるアークの自己制御性について、従来の研究を総合し一般的理論的検討を行った。特にステンレス等のような抵抗の高い線材の場合につき詳しく吟味した。結論としては、

(1) 固有自己制御作用はアークの極めて短いとき、しかもアークの短くなる方向に対しては相当大きい、一般

のアークに対してはその値は小さく充分なものではない。

(2) 熔接機の特性的効果および抵抗の効果につき一般的表式化を得た。

(3) ステンレスのように抵抗の高い線材にあっては、特に垂下特性の場合は、ガンと熔接物の間の相対距離 (h) の変動に対し、アークの長さよりむしろ電極線の突出長さが保存されと考えるべきで、従って良好な熔接を行うために h および電流供給位置を厳重に一定に保つことが極めて重要である。

なお以上の考察が種々のガスシールド熔接その他の自動熔接におけるアーク現象の理解にも幾分でも役立ち得るならば幸と考える次第である。

文 献

- 1) Muller, Greene, Rothschild, W.J. 1951 Aug. p. 717.
- 2) 内田, 萩原, 熔接学会誌 Vol. 27 ('58) No. 1. p. 1.
- 3) Muller, Gibson, Roper, W.J. 1950 June. p. 458.
- 4) Wooding, W.J. 1953, May. p. 407.
- 5) 内田, 萩原, 熔接学会誌 Vol. 26 ('57) No. 11. p. 11.
- 6) 安藤, 上山, 万木, 熔接学会誌 Vol. 27 ('58) No. 5 p. 38
- 7) 安藤, 西川, 同上 p. 34.
- 8) 例えば Hull, Needham, British. W.J. 1953 p. 80γ
- 9) 安藤, 熔接学会誌 Vol. 25 ('56) No. 2, p. 14.
- 10) Tuthill, W.J. 1954 Feb. p. 128.
- 11) Needham, British W.J. 1955. Nov. p. 506.
- 12) Lesnewich, Cushman, W.J. 1956. July p. 655.
- 13) Wilson, Claussen, Jackson, W.J. 1956 Jan. p. 1-s.