論文および報告

MIG 熔接心線における熱伝導の一考察*

内 田 彰**

A Study on Heat Transfer in MIG Welding Electrode Wire*

By A. Uchida**

Abstract

A brief theoretical study has been attempted on the thermal distribution, heat transfer, Joule's heat of a MIG welding electrode wire, in the measured values of the burn-off rate of which there has been noted some discrepancies.

The conclusion of the study is summarized :

- 1) Under normal conditions for MIG welding, the thermal distribution curve of the wire begins on a mild gradient, independent of heat transfer, ending in a sharp rise near the tip.
- 2) Accordingly, under these conditions ($e^{4I_0} \gg A\theta_0 - BI_0$), the wire as viewed from the influence of thermal constants may be divided into two regions, namely, one independent of heat transfer effect (dependent on B/A) and the one, near the tip, in which the heat transfer effect prevails.
- 3) Loss of heat transferred to the contact tube is proportional to the current, and is not influenced by the length of wire or the temperature of tip. But it has been found extremely small for all the metals.
- 4) The contribution of Joule's heat to the burn-off rate is estimated several % for aluminum and copper ; up to 10% for iron. Excepting such an alloy as stainless steel, its effect seems not to be so large.
- 5) From these considerations, it can be concluded that, as major factors affecting the burn-off rate of the wire material quality and some yet unknown intricate mechanisms around the tip are suspected, besides the welding current and arc voltage.

1 は し が き

高い電流密度のアークにおける自己制御性というものが発見されたために、いわゆる MIG 法というような精密高能率の熔接を可能にするところの高電流密度アーク熔接法が近時著しい発達を見ている。この方法のキーポイントは心線の送り速度と熔融速度とのバランスである。熔融速度が何によって支配されるかは、比較的乏しい実験結果と定性的推論があるのみで未だ充分解明はされていない。従ってアークの安定性や「焼けもどり」(burnback)の現象あるいは一定の電圧電流ではどのような太さの心線を使うのが最も合理的かというような問題について根本的に論ずることは未だ極めて困難である。

筆者は少し前から車輛用アルミ合金の MIG 熔接の試験を行っているが、初めに心線の熔融速度の測定を行ったと

Fig. 1. Burn-off rate of Al $\frac{1}{16}$ " electrode.
(Figures on the curves are arc voltages)

* 原稿受付 昭和31年5月7日 (昭和31年度熔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

トチューブへの損失熱量を加えたものからジュール熱を減じたものに等しいことを表わしており、これは寧ろ当然のことである。しかしこのことが厳密にいえるのは(10)の条件が必要であることが以上から明らかとなった。

$$\text{また } k_m a \frac{B}{A} = k_m a \frac{1/J \rho_m i^2}{S \delta C_m} \propto I \dots \dots (13)$$

S は大体において電流密度に比例することが知られているから(13)は電流 I に比例することが判る。また容積比熱には反比例するが、Wiedeman-Franzの法則($k\rho \sim \text{const.}$)を考慮すれば、比抵抗や熱伝導度によっては大して変化しないことが推定しうる。

3 温度分布の数値計算とその検討

(8)式による温度分布を実際に計算するためには、諸常数値を適当に評価する必要があるが、これ等のうち比抵抗は温度係数が最も大きく、また比熱、熱電導度も温度によって相当変化する。しかしながら後述するように、アークに極く近い部分以外は、室温から50°C乃至100°Cにおける値の平均値を用いておけば機構の考察の上では差支えない。Table 1は計算に一応採用した諸常数である。表中の θ_0 の値はアルミでは $t_1=160^\circ\text{C}$ 、銅では $t_1=80^\circ\text{C}$ 、鉄では $t_1=30^\circ\text{C}$ としたことになり、必ずしも公平でないかもしれないが、これら金属の性質の比較を容易にするために敢えて撰んだものである。また I とそれに対応する S の値はアルミは筆者の試験経験から(Fig. 1)、その他は適当な文献⁴⁾⁵⁾を参考にしてそれぞれ一例を撰んだものである。また l_0 は2cm、線径は $\frac{1}{16}$ "($a=1.98 \times 10^{-2}\text{cm}^2$)の場合について計算した。

Table 1 Physical Constants and Parameters
Used in the Calculations

		Al	Cu	Fe	Stainless St.
C_m	cal/g, °C	0.24	0.092	0.11	0.12
k_m	cal/cm, °C, sec.	0.45	0.80	0.15	0.040
δ	g/cc.	2.7	8.92	7.87	7.9
ρ_m	$\Omega\text{cm} \times 10^{-6}$	4.0	2.5	10	75
θ_0	°C	500	1000	1500	1400
I	amp.	200	380	300	300
S	cm/sec.	9	12	7	9

Fig. 4は計算の結果であるが、曲線はステンレス以外は初め低い勾配でチップの近傍に及んで急に立上ることが判る。初めの部分は (B/A) で、すなわち熱伝導度に関係がなくジュール熱と送り速度で決る部分であり、後の部分はアークからの伝導熱が優勢な部分である。この立上りの点はアルミや銅ではチップから $\sim 2.5\text{mm}$ 、鉄では $\sim 1\text{mm}$ 程

Fig. 4. Temperature distribution on the MIG welding electrodes (calculated)

度であるが、しかし厳密に言えば熔滴落下のためのチップの位置の振動やまた輻射熱を考えねばならぬから、このように短い領域に対しては以上の結果が正確に当てはまるとはいえない。またこの部分については温度の変化が大きいため熱的常数の値をどうとるべきかについて問題がある。

しかし以上の結果から、例えばジュール熱の評価をする場合には、心線を二つの領域に分けて、チップから一定距離を除いた部分に対しては室温から100°C位迄の平均の熱常数値をとることとし、チップ近傍の一定領域に対しては別に実験的に定めた適当な値をとることにすれば簡単な取扱いが可能であろうと考えられる。

ステンレスについては熱伝導の役割は極めて限られており、ジュール熱の影響だけで殆ど温度分布が決ってしまうが、計算曲線における直線部分はもし比抵抗の温度による変化を考察すれば上方に凹の曲線とならなければならない。

4 損失熱およびジュール熱の寄与

前節の数値計算に用いた各場合につき(9)式の各項を計算すればTable 2の如くである。

- [I] 毎秒のコンタクトチューブへの伝導損失熱
- [II] 心線が $\theta_0^\circ\text{C}$ 上昇するため毎秒必要とする熱容量
- [III] 毎秒のジュール発熱
- [I]+[II]-[III] チップを通して伝導により毎秒心線が得る熱量
- [IV] 融点にある心線が同温の液体になるため毎秒要する潜熱
- [V] 心線が熔融するために毎秒必要とする熱量

Table 2では各場合の S 値が異なるから、各項を S で除して心線1cm当りの熱量として図表によって比較するならFig. 5の如くなる。

前述の如く本計算では高温における比抵抗の増加を充分には考慮に入れていない。従ってジュール熱の評価はや

Table 2

	A	B	cal/sec				
			[I] $ka B/A$	[II] $ka A\theta_0$	[III] $ka Bl_0$	[IV] L	[V] $=\frac{[I]+[II]}{[IV]}$
Al $I=200$ $S=9$	12.96	217.0	0.149	57.7	3.86	44.8	103
Cu $I=380$ $S=12$	12.31	220.3	0.283	195	6.96	105	300
Fe $I=300$ $S=7$	40.4	3661	0.269	180	2.17	69.8	250
Stainless St. $I=300$ $S=9$	213	1030×10^2	0.382	237	163		

グの仕方の影響は大して問題となるものでなく、熔接電流とアーク電圧以外の主要素は、心線の材質の影響およびチップ近傍の未だ充分明かになっていない複雑な機構によるものであろう。

5 結 論

MIG熔接の心線熔融速度の諸測定値における喰ちがいに着目し、心線上の温度分布、熱伝導、ジュール熱等に関する簡単な理論的考

Fig. 5.

過少となっていることは確かであるが、大体の程度としては、普通の MIG 熔接の条件では心線の消耗速度に及ぼすジュール熱の影響

察を行った。結果を要約すれば次の如くである。

(1) 普通の MIG 熔接の条件では、心線における温度分布曲線は、はじめは熱伝導度にはよらないゆるい勾配でチップの近傍に至り急に上昇する。

(2) 従ってその場合、 $(e^{Al_0} \gg A\theta_0 - Bl_0)$ の条件の下では心線における熱的常数の影響を考える場合に、熱伝導の影響によらず (B/A) によってきまる) 領域と、チップの近傍で熱伝導が支配的な領域との二つの部分に分けて考えることができる。

(3) コンタクトチューブへの伝導損失熱は電流に比例し心線の長さやチップの温度にはよらないが、いかなる金属の場合も極めて小さいことが明かとなった。

(4) ジュール熱が熔融速度におよぼす寄与はアルミや銅では数%, 鉄で 10% 程度にとどまると推算され、ステンレススチールのような合金を除いてはその効果は大きなものとは見られない。

(5) 以上から心線の熔融速度に影響する主要素は、熔接電流とアーク電圧以外では、心線の材質の影響およびチップ近傍の未だ充分明かになっていない複雑な機構によるものであろう。

文 献

- 1) Rockefeller, Weld. Jl. Vol. 31 (1952) No. 7 p. 575-586.
- 2) Wooding, Weld. Jl. Vol. 32 (1953) No. 5 p. 407-423.
- 3) Muller, Gibson, Roper, Weld. Jl. Vol. 29 (1950) No. 6 p. 458.
- 4) Hull, Needham Weld. Research Vol. 7 (1953) No. 4.
- 5) Moore, Taylor, British Weld. Jl. Vol. 2. (1955) No. 10.
- 6) Wilson, Claussen, Jackson, Weld. Jl. Vol. 35. (1956) No. 1, pl-s.

はアルミや銅では 3~5%, 鉄では約 10% の程度とみることができる。また第 4 図に見られた如くチップの近く以外では温度分布の勾配は極めてゆるく、従って l_0 すなわち心線の長さが若干増しても温度分布の曲線はチップの方を基準にとれば、 (B/A) で与えられる直線部分が若干上方へずれるのみであり、ジュール熱の役割は l_0 に比例して増すが、全体から見れば大した問題となるほどにはならない。但しステンレスの場合はジュール熱の影響が極めて大きいことは Table 2 にみる如くである。

なお最近 Wilson, Claussen, Jackson 等により熔融速度に対する I^2R 熱の影響に対し、主としてユニオンメルトの場合であるが、かなり詳細な報告が出された⁶⁾。それによれば I^2R 熱の影響は相当大きいことになっており、筆者の結果と少し差があるように思われる。その理由については充分には明かでないが、彼等の結果は比較的長いアークで低目の熔融速度を基準にしているように思われ、また対数図表を用いて行っているデータの整理の仕方や理論式等に若干問題があるように考えられる。

次にコンタクトチューブへの損失熱は 0.1% 内外で、(13) 式によればいかなる種類の金属の場合でも大きくなることはないことが明かである。

また以上の結果から心線の熔融速度に対するセッティン