

定電圧電源によるアーク制御とアーク特性

Welding Arc Characteristics and Automatic Control of Arc with Constant Potential Power Source

横 尾 尚 志* 江 間 一 男*
Takashi Yokoo Kazuo Ema

内 容 梗 概

最近の MIG 溶接などで実用されている制御方式、すなわち、電極を一定速度で送給し、電源溶接機の定電圧特性を利用してアークの自動制御を行う方式について、アーク特性とアーク制御に関する実験を行った。そして従来からサブマージド・アーク溶接などで使用されている電圧制御方式と比較考察した結果、種々の点で前者の制御方式の方がアーク制御能にすぐれているので、半自動溶接のようにアーク長の変動を予想しなければならない場合には、この制御方式の方が有利であることを明らかにした。

1. 緒 言

最近溶接技術の進歩とともに、その作業範囲が拡大され、溶接作業の能率化が強く要望されるに伴って、種々の手段が講ぜられるようになった。特に最近では自動溶接の適用範囲を拡大すると同時に、半自動溶接を適用して能率を向上させようとする傾向が強く、それにこたえてすでに数種の半自動溶接法が実用化されている。これらの溶接法はそれぞれ固有の特性を有しているが、アーク制御の方式によって大体次の2種に大別することができる。

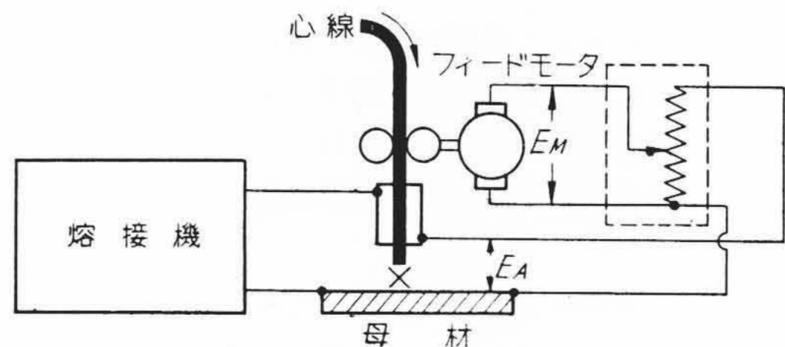
- (1) アーク電圧により電極送給速度を調整し、アーク長さを一定に保つ方法
- (2) 一定速度で電極を送給し定電圧あるいは上昇特性の電源により、アークの自己制御能を利用してアーク長さを一定に保つ方法

従来自動溶接として広く用いられているサブマージドアーク法は前者に属し、最近実用化された MIG 溶接あるいは炭酸ガスアーク溶接などの半自動溶接法の多くは後者の制御方式を利用している。後者による新しい制御方法の理論はすでに内外の文献に多数報告されているが、実験結果を報告した論文はあまり多くない。

そこでわれわれは定電圧電源と MIG 溶接装置とを用いて、そのアーク制御とアーク特性に関する調査を行ったが、アーク特性は電極の材質あるいはアーク雰囲気によって相当異なると思われたので、次のような4種のアーク雰囲気および線材の組合せについて実験した。

- (1) 純アルゴンガス雰囲気中におけるアルミニウムアーク
- (2) 純アルゴンガス雰囲気中における軟鋼アーク
- (3) 5%酸素入アルゴンガス雰囲気中における軟鋼アーク
- (4) ユニオンメルトフラックス中における軟鋼アーク

* 日立製作所亀有工場



第1図 電圧制御方式

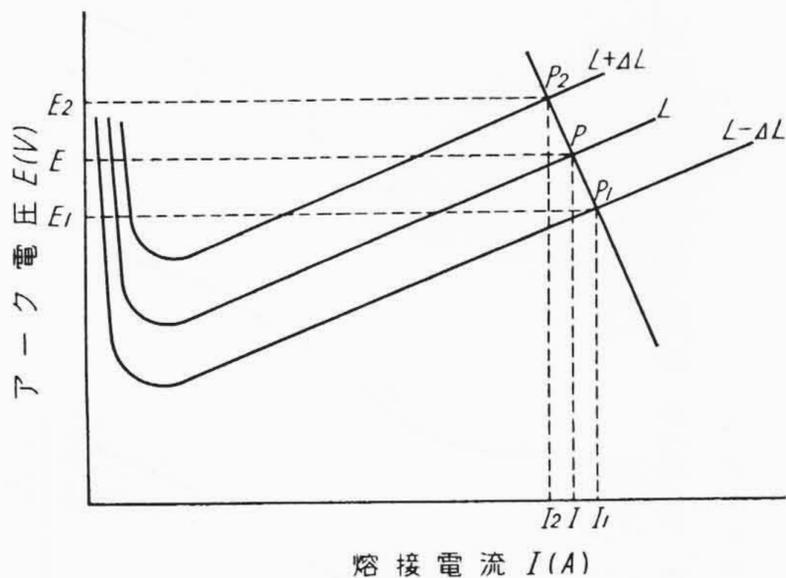
以下実験結果の概要を報告する。

2. 定電圧電源によるアーク制御^{(1)~(3)}

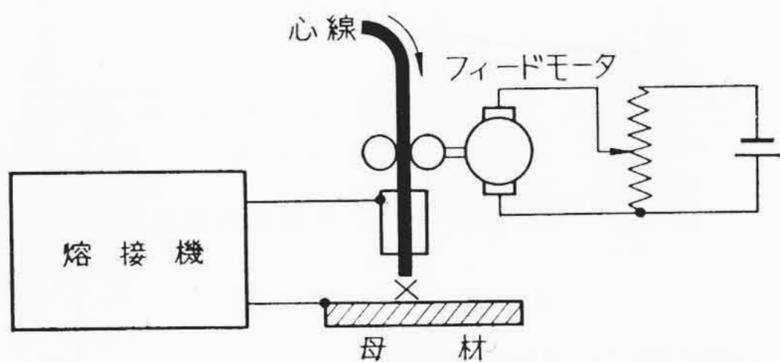
現在アーク制御の方式として電圧制御方式と定電圧電源（または上昇特性電源）方式の2方式があることは前述のとおりである。

電圧制御方式の場合は第1図のごとく電極送給モータがアーク電圧によって作動し、アーク長の変動に応じて送給モータの回転速度が変化してアークを一定に保つようになっている。すなわち、アークが長くなってアーク電圧が高くなろうとすると電極の送給が早くなり、逆にアークが短くなって電圧が低くなろうとすると電極送給速度が遅くなるから、アークは常に一定の長さに保たれる。このように電圧制御方式ではアーク長の変動に伴う電圧変動を利用するのであるから、電源としてはわずかなアーク長変動でも大幅にアーク電圧が変化し、しかも電流変化の少ないものが望ましく、したがって第2図のような垂下特性電源が用いられている。

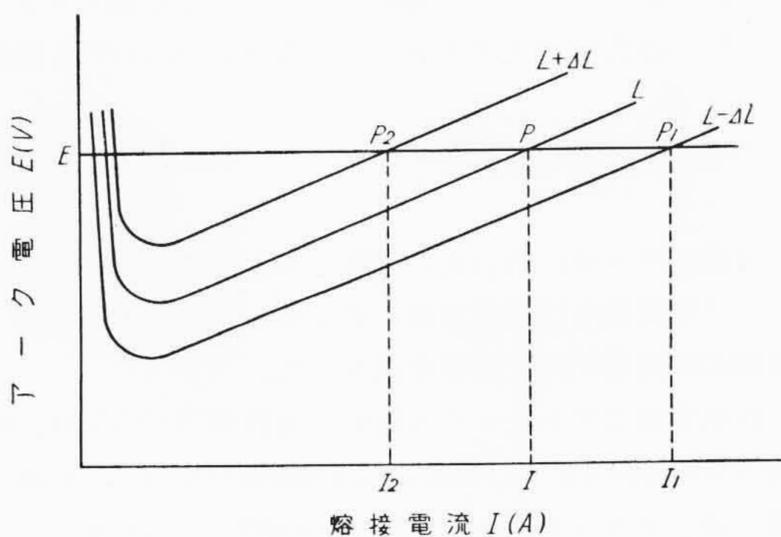
これに反し、MIG 溶接では第3図に示すように電極送給モータがアーク電圧に無関係に一定速度で回転するようになっている。そしてアーク制御は第4図に示すような定電圧特性の電源を使用することによりきわめて円滑に行われるのであるが、その原理は大体次のごとくである。



第2図 熔接機の外部特性(垂下特性)

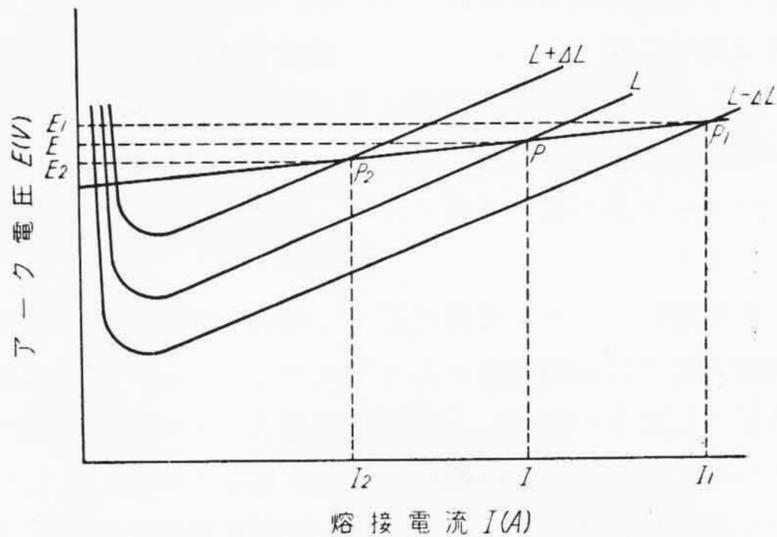


第3図 電極定速度送給方式



第4図 熔接機外部特性(定電圧特性)

電極の溶融速度はほぼ電流によって定まるから(アーク電圧も影響するが定電圧電源では電圧変動が少ないからその影響は無視して差しつかえない),電極が一定速度で送給されるとそれに等しい溶融速度に対応する電流が流れてアークが安定する。すなわち第4図のP点でアークが安定に発生しているとすれば,その場合は電流Iに相当する溶融速度で電極が送給されるわけである。このアークがなんらかの原因(半自動溶接の場合は当然トーチの動揺を考えねばならない)で ΔL だけ短くなったとす



第5図 熔接機外部特性(上昇特性)

ると,アーク発生点は P_1 へ移動し,電流は I_1 に増大する。この場合,電源が定電圧特性であるから $(I_1-I)/\Delta L$ がきわめて大きく,したがって溶融速度も瞬間的に著しく増大して送給速度を上回り,アークは急速に回復する。逆にアークが ΔL だけ長くなったときには,アーク発生点が P_2 へ移動し,電流が I_2 に激減する結果,急激に溶融速度が小になってアークが回復するのである。もし第5図のような上昇特性の電源を用いれば,アーク長の変動に伴う電流の変化は定電圧特性の場合よりさらに大きくなり,したがってアーク回復能はより増大するはずである。(ここで電源特性曲線がアーク特性曲線以上に上昇特性である場合はアーク発生点におけるこれら二つの特性曲線の交叉が逆になるので,現実にはアークが発生しないことを注意すべきである)。

以上電圧制御方式と定電圧電源を用いた一定速度送給による制御方式について,その原理を略述したのであるが,半自動溶接のように相当激しいトーチの動揺を予想しなければならない場合において,いずれの方式がアーク回復能にすぐれているかということ考えた場合,いろいろ複雑な問題はあるが少なくとも次のような点では定電圧電源方式の方が有利であろうと判断される。

まず第一に半自動溶接においては相当抵抗の大きいコンジットチューブの中を通過して電極を送給しなければならないのであるから,瞬間的に微妙な送給速度調節をしようとする電圧制御方式には根本的に無理があるが,この点定電圧電源方式では常に一定速度で送給し,しかもその速度がかりに若干変動したとしても直接アーク制御に有害ではないから,大いに有利である。

次に定電圧電源方式では電流密度が大きく電極送給速度が大であるが,この速度より小さい速度で移動する限り,いくらトーチが母材から遠ざかってもアーク長さは一定に保たれ,決してアークは消滅しない。たとえば6,000 mm/minで電極を送給しているトーチを4,000 mm/minの速度で母材から引き離れたとすると,母材に

対する電極の相対速度は2,000mm/minとなるから、電流は約 $\frac{1}{3}$ に減るが、アークが消滅するようなことはない。しかし電圧制御方式では電流がほとんど減少しないから送給モータの増速が瞬間的に追従して行われなからぎりアーク長が次第に長くなり、やがてアークは消滅してしまう。

また逆にトーチが母材に近づく場合を考えると、電圧制御方式では短絡電流があまり大でないから、容易に短絡してしまうのに反し、定電圧電源方式では短絡電流がきわめて大になるため絶対に短絡することはない。したがってアークスタートに際しても電極を母材に接触するだけで自然にアークが発生し、フェーズの使用やスクラッチスタートの必要がない。

3. 熔接装置

この実験に用いた熔接装置は一般のMIG熔接装置とまったく同一であって次の各装置からなる。

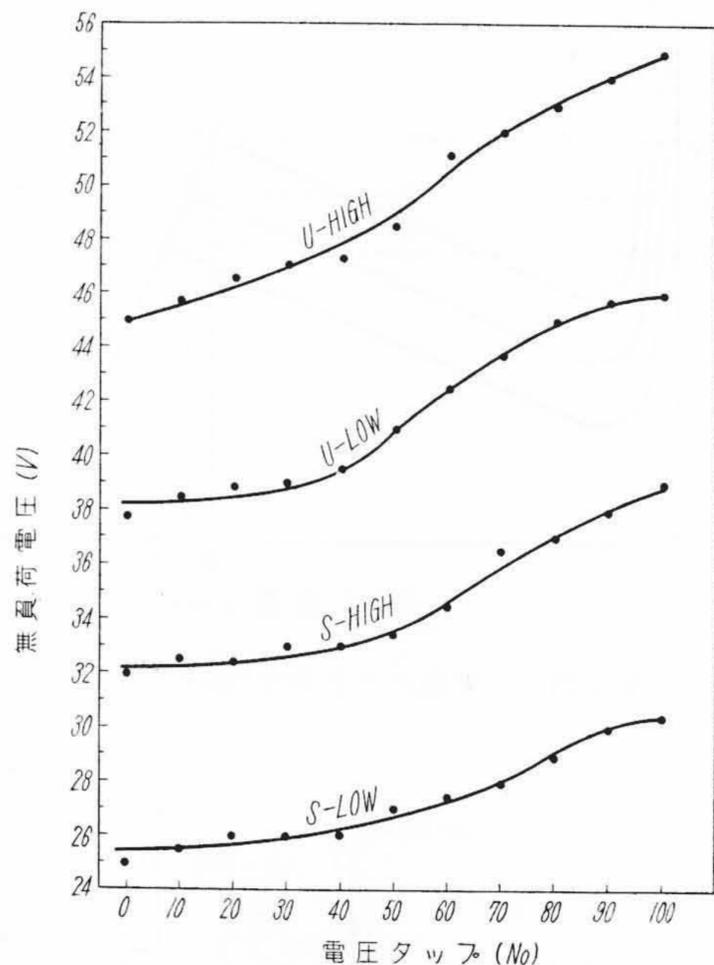
- (1) 整流形500A定電圧直流熔接機
- (2) MIG熔接機
電極送給装置
制御装置
熔接トーチ
- (3) アルゴンガス供給装置
- (4) 酸素供給装置

この熔接装置は定電圧特性の電源を用いているので、アーク電圧は電源熔接機の調整によって決定され、熔接電流は電極送給速度によって決定されるのが特長である。

アーク電圧は直流熔接機の電圧調整抵抗器によって連続的に調整されるが、大幅な調整はHIGH \leftrightarrow LOWタップの切換えにより、またさらに大きな調整はS \leftrightarrow Uタップの切換えによって行われる。各調整位置における熔接機の二次側無負荷電圧の測定結果を第6図に示す。同図から明らかなごとく、電圧調整抵抗器による調整範囲は切換タップが高圧側になるほど広くなり、S-LOWタップでは約5VであるがU-HIGHタップでは約10Vである。

またタップ切換えと電圧調整抵抗器の調整により25~55Vすなわち30Vの広範囲にわたって電圧調整が可能であることがわかる。なおここでSタップはMIG熔接の場合に使用し、Uタップはユニオンメルト熔接の場合に使用するようになっている。

電極送給速度は制御装置の熔接電流調整器によって調整され、その速度は電流計の読みで表示されるが、電極の材質や直径が異なり、大幅に送給速度を変える必要がある場合はフィードモータの減速ギヤを交換する。



第6図 電源熔接機の二次側無負荷電圧

4. 実験要領

前節に述べた実験装置を用い

- (1) 純アルゴンガス雰囲気中におけるアルミニウム・アーク
- (2) 純アルゴンガス雰囲気中における軟鋼アーク
- (3) 5%酸素入アルゴンガス雰囲気中における軟鋼アーク
- (4) ユニオンメルト・フラックス中における軟鋼アーク

の4種のアークについて、可能なかぎりできるだけ広くアーク電圧および熔接電流を変化せしめ、電圧—電流—電極溶融速度の相互関係を調査した。

供試電極はアルミニウム電極の場合52S (2.5%Mg)線材 1.6mm ϕ ($\frac{1}{16}$ " ϕ) および 2.4mm ϕ ($\frac{3}{32}$ " ϕ)、軟鋼電極の場合にはユニオンメルト用 Oxweld No. 43 線材 1.6mm ϕ ($\frac{1}{16}$ " ϕ) を使用した。

使用せる母材はアルミニウム・アークでは52S圧延板、軟鋼アークでは軟鋼板(SS41)である。

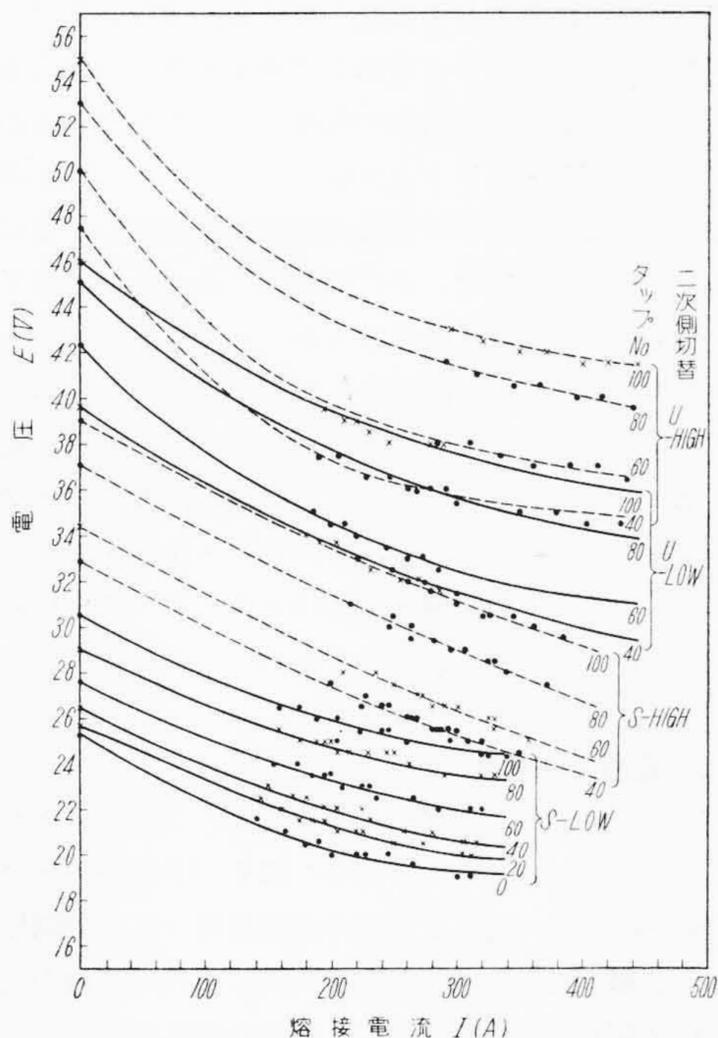
なお実験中の一次側電源電圧の変動は200Vに対し-2.5~-7.5Vの範囲内であった。

5. 実験結果と検討

前節に述べた4種のアークについて、電極送給速度、アーク電圧、熔接電流などを測定した。それらの結果をまとめて以下に報告する。

5.1 電源特性

電源熔接機の電圧調整抵抗器および電圧タップの各位



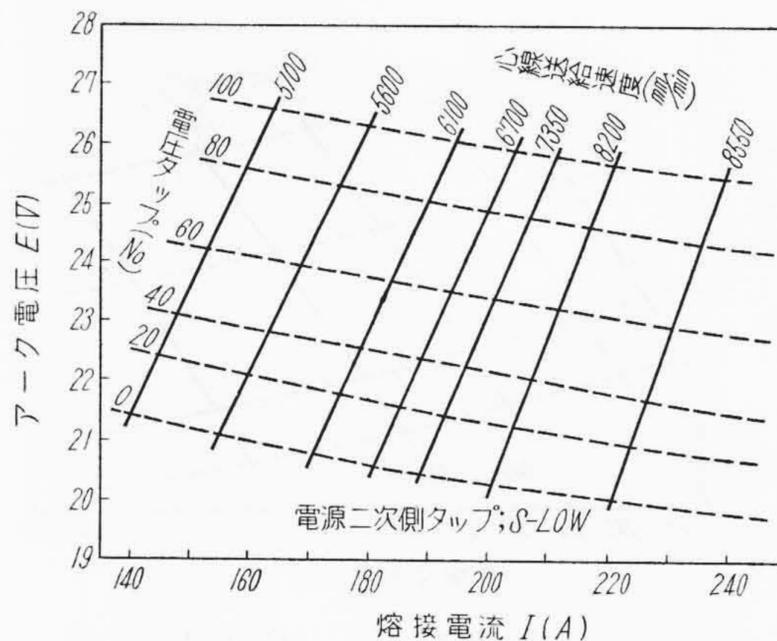
第7図 電源溶接機の外部特性曲線

置における電圧—電流特性(いわゆる外部特性)曲線を求めると第7図のごとくである。同図における無負荷電圧(電流零なるときの電圧, すなわち縦軸との交点)は第6図からプロットしたものである。

同図は一般にいうほど完全な定電圧特性ではないが, 電圧制御方式で用いられる垂下特性とは全然異なっている。すなわち負荷の小さい範囲ではやや大きく電圧が変化しているが, 一般に溶接電流として使用する電流域では, 電流の増加100Aにつき電圧の低下は1Vにすぎない。垂下特性電源では電流100Aにつき電圧は約10V程度変化するから, これに比すればほとんど一定電圧と考えても差しつかえない。

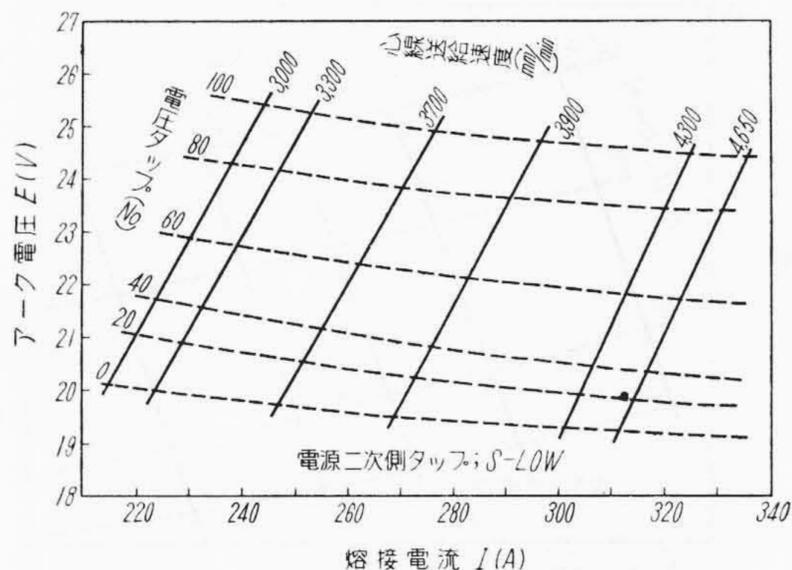
5.2 アーク特性

電源溶接機に一定の外部特性(電圧—電流特性)があるように, アーク自身にも一定の電圧—電流特性が存在するのであって, 前者を電源特性というのに対し後者をアーク特性と称する。しかしアーク現象そのものが複雑であると同様に, アーク特性もまた電源特性に比してきわめて複雑な問題を含んでいる。すなわちアーク特性はアーク雰囲気, 電極材質および直径, アーク長さ, 電極溶融速度, 極性などアーク現象に関係ある因子はすべて影響を有する。しかし一般にはアーク長さ一定なる場合の電圧—電流特性または電極溶融速度一定なる場合の電圧—電流特性をとるのが普通である。この実験ではアーク長さを測定していないので, アーク特性としては後者



電極: 52S 1.6 mmφ (1/16"φ)
雰囲気: アルゴンガス

第8図 アーク特性—(1)

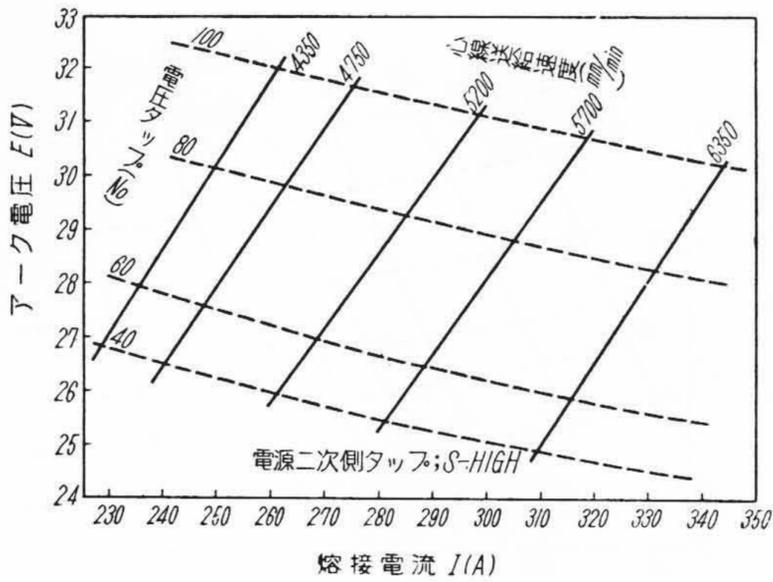


電極: 52S 2.4 mmφ (3/32"φ)
雰囲気: アルゴンガス

第9図 アーク特性—(2)

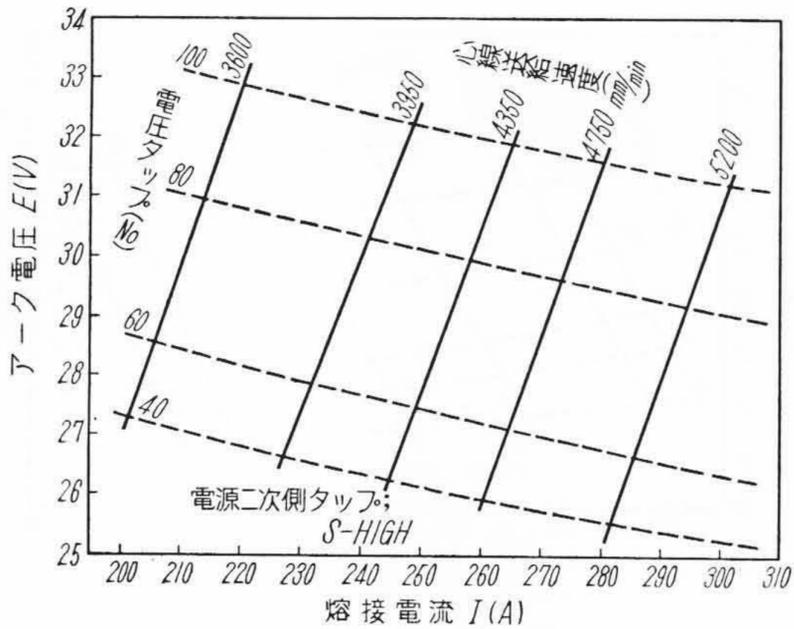
をとることにした。

4種のアークについてそれぞれ電極送給速度一定なる場合の電圧—電流特性を求めると第8~12図が得られた。これらの図には電源特性曲線(前掲第7図)も併記したが, 実際のアークはアーク特性曲線と電源特性曲線の交点(すなわち実線と点線の交点)で発生するのである。したがってこれらの線図は, このような溶接装置を所定の溶接条件に調整せんとする場合必要欠くべからざるものである。すなわち, 必要な電圧, 電流をうるためにはこれらの線図上に, その条件に一致する坐標点を求め, それを通る電源特性曲線(点線)のタップに調整し, またその点を通るアーク特性曲線(実線)の送給速度で電極を送給すればよいことが知られるのである。これらアーク特性曲線はすべての場合同じ方向に傾斜しており, 電極送給速度を一定にして電圧を高くするとそれに伴って電流も大なることを示しているが, その曲線の勾配



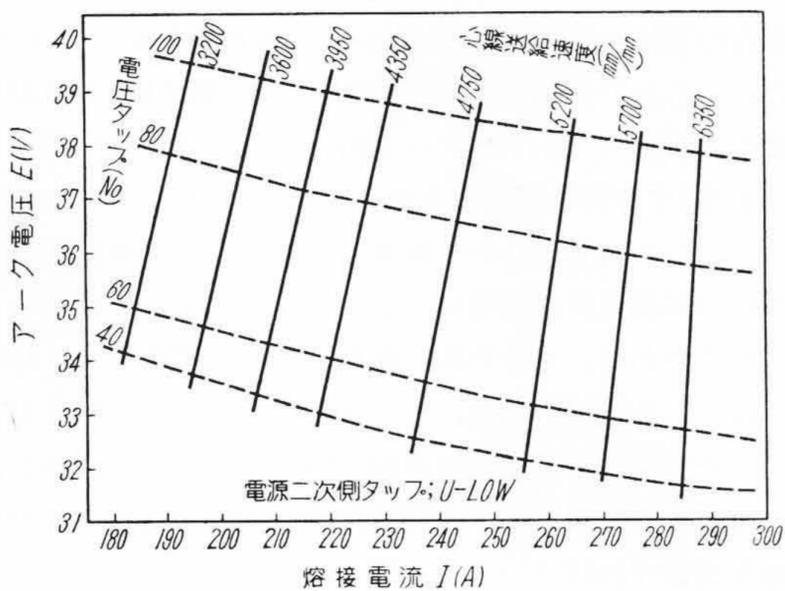
電極：軟鋼 1.6 mmφ (1/16"φ)
 雰囲気：アルゴンガス

第10図 アーク特性- (3)



電極：軟鋼 1.6 mmφ (1/16"φ)
 雰囲気：アルゴンガス+5%酸素

第11図 アーク特性- (4)



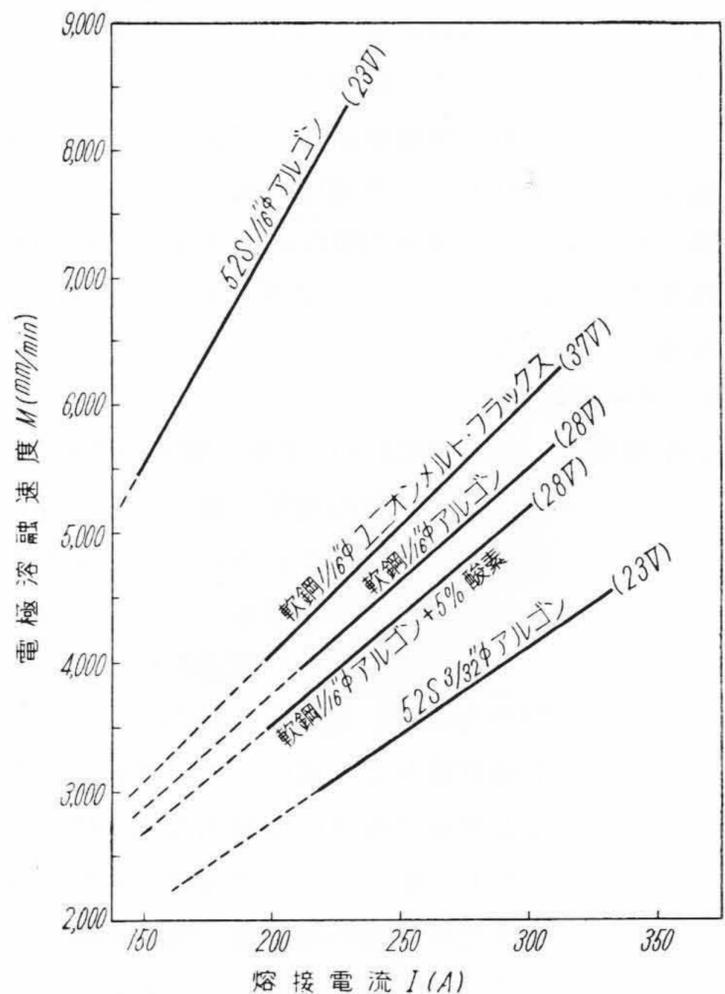
電極：軟鋼 1.6 mmφ (1/16"φ)
 雰囲気：ユニオンメルト・フラックス

第12図 アーク特性- (5)

はアークの種類によって異なっている。すなわちアルゴン雰囲気中でのアークは電極がアルミニウムの場合も軟鋼の場合もともに特性曲線の勾配がゆるやかであるが、ユニオンメルト・フラックス中でのアークは勾配が非常に急になっている。このことは電極送給速度を一定にしてアーク電圧を変化せしめた場合、アルゴン中でのアークは電流が相当激しく変化するが、ユニオンメルト・フラックス中のアークではほとんど電流に変化がないことを示すものである。またこれを逆にいえば、電流一定なる場合、アルゴン中アークでは電極溶融速度がアーク電圧の影響を受けるけれども、ユニオンメルト・フラックス中アークでは電極溶融速度がほとんどアーク電圧に無関係であることを示したものである。このことについては次項でさらに詳細に検討する。

5.3 電極溶融速度⁽⁴⁾⁽⁵⁾

上述の実験において電極送給速度というのはすなわち電極溶融速度ということである。第8~12図のアーク特性曲線から電圧一定なる場合の溶融速度—電流の関係を求めると第13図が得られる。同図によれば電流の大なるほど溶融速度が大であって、両者の間には明らかに比例関係の存在することが知られる。また溶融速度は電極の材質によっても非常に異なり、アルミニウム電極の溶融速度は同一直径の軟鋼電極に比してはるかに大きく約2倍に近い値を示している。これは電極材料の熱容量と溶融速度との相異に起因するものであって、軟鋼の溶融に必要な熱量は同一容積のアルミニウムの溶融に要する



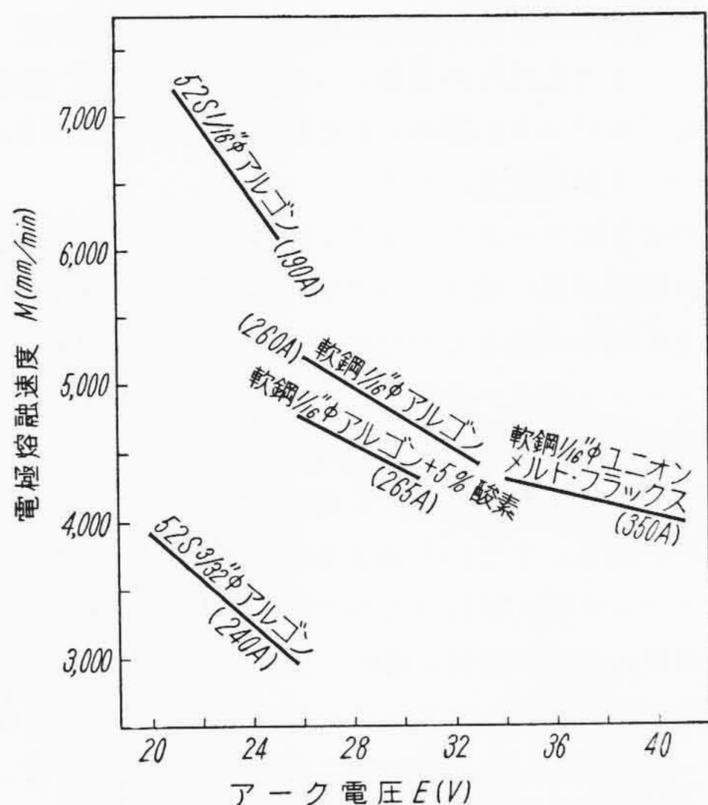
第13図 電流と電極溶融速度の関係

熱量に比して約3倍に近い。ただし同じアルゴンガス雰囲気中でも軟鋼アークの場合はアルミニウムアークに比してアーク電圧がやや高いから、それだけアークの発生エネルギーも大きいわけであり、したがって溶融速度においては所要溶融熱量の差ほど大きな差が表われなかったものと考えられる。

同じ軟鋼電極の場合はアルゴン中でも、ユニオンメルト・フラックス中でも溶融速度にそれほど差異が認められない。しかるにユニオンメルト・フラックス中ではアルゴン中に比してアーク電圧が著しく高く、したがって同一電流に対するアークの発生エネルギーもずっと大きいはずであるから、一見溶融速度にも差異が表われてしかるべきように思われるが、実際にはユニオンメルト・アークで発生するエネルギーの相当部分がフラックスの溶融に消費され、電極の熔融についやされるエネルギーはアーク電圧30V以下に相当する熱量にすぎないことが知られている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

この実験では純アルゴン中と5%酸素入アルゴン中との溶融速度に差異が認められなかったが、アルゴン中とヘリウム中では相当差のあることが報告されている。そしてその差はやはりアーク電圧の差が原因であると考えられる(ヘリウム中のアークの方が電圧が高く溶融速度も大である)⁽⁸⁾。

次に電流一定なる場合の溶融速度—電圧の関係を第8～12図から求めると第14図が得られる。この図の曲線から明らかなようにいかなる場合もアーク電圧が大なるほど溶融速度が小になるが、この傾向はアルゴン中のアルミニウム・アークにおいて最も顕著であり、軟鋼ユニオンメルト・フラックス中のアークにおいてはあまりはなはだしくない。このことは第8～12図におけるアーク



第14図 アーク電圧と電極溶融速度の関係

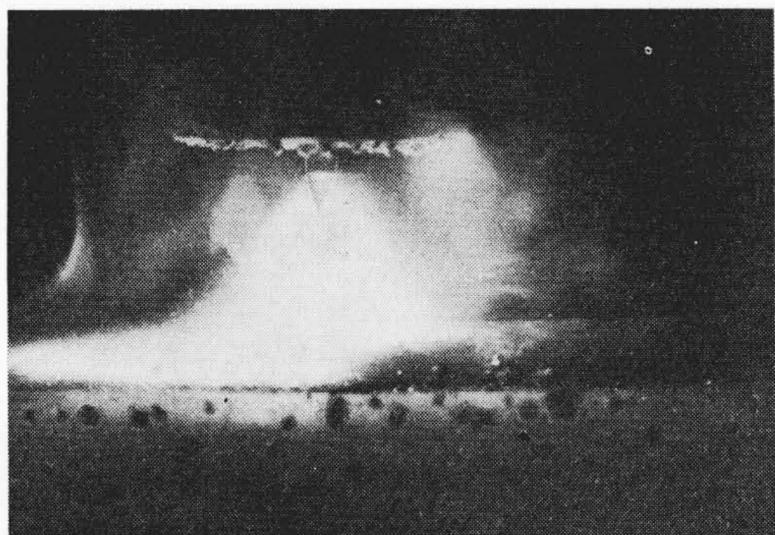
特性曲線の傾斜の度合からすでに予想されていたのであるが、このように電極溶融速度がアーク電圧によって大いに変動する現象をアークの自己制御特性と呼ぶことがある(アークの自己制御特性または自己制御能という言葉は、ここで述べたようにアーク電圧による溶融速度の変化のみを指すこともあり、もっと広義に原因が電圧であろうと電流であろうと、とにかくアーク長さによって溶融速度が変化することを指すこともあるが、ここでは説明の便宜上前者によることにした)。たとえばアルゴン中のアルミニウム・アークの場合、かりにアーク長さの変動に伴う電流の変化が全然ないものとしても、アーク長さの変動によるアーク電圧の変化によって電極溶融速度が変動し、アーク長さを一定に保つように作用する。すなわちアークが長くなってアーク電圧が高くなると溶融速度が減少し、逆にアークが短くなってアーク電圧が低くなると溶融速度が増大して常にアークを回復する方向に作用する。したがってアルゴン中のアルミニウム・アークのように自己制御特性の著しい場合には、その性質を利用して定速度送給によるアーク制御を行うこともできるが、そのためにはアーク長さの変動によるアーク電圧の変化量を大にするため垂下特性(または定電流特性)の電源を使用する必要がある、この実験のように定電圧電源を使用した場合には、元来アーク電圧の変動がないのであるから、したがって自己制御特性というものはアーク制御にとってなんら関係がないのである。また垂下特性電源を使用し電極を一定速度で送給したとすれば、軟鋼ユニオンメルト・フラックス中アークのように自己制御能のない場合にアーク制御が不可能になってしまう。

なお不活性ガス中アークにおける自己制御特性、すなわちアーク電圧による電極溶融速度の変化については、その理由としていろいろの説が述べられているが、いずれも決定的なものではないようである⁽⁵⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

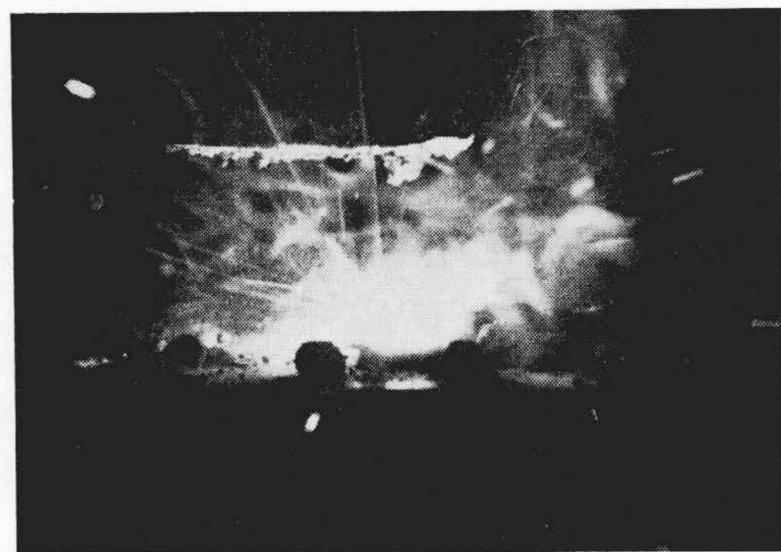
また電極に通電しているコンタクト・チューブの先端からアークまでの電極の突出長さが異なれば電極の予熱効果が相異し、それによって電極溶融速度に影響を及ぼすという説⁽¹²⁾もあり、またこれらを否定する説⁽¹³⁾もあるが、この実験ではアーク長さに応じトーチを母材に対して上下するようにし、電極突出長さを15mm一定ならしめるよう注意した。

5.4 アークの安定性

一定速度で電極を送給する場合のアーク制御機構については上述の考察でほぼ明らかにされたが、ここでその場合の制御能という問題について考えてみよう。一定速度で電極を送給する場合は、アーク長さの変動に伴う電極溶融速度の変化を利用するわけであるから、アーク長さの一定量の変動に対して溶融速度の変化の割合の大き



第17図 安定なアーク



第18図 不安定なアーク

プレー形移行の状態ではきわめて作業性が優秀であり、立向溶接でも下向溶接でもほとんど同様に容易である。

6. 結 言

以上定電圧電源によるアーク制御について種々実験および考察した結果を報告したが、それを要約すれば次のごとくである。

- (1) 定電圧電源方式の方が電圧制御方式よりも半自動溶接に適している。
 - (2) 定電圧電源において溶接条件を調整する場合には、第8~12図を利用すればよい。
 - (3) 電極溶融速度は電流と直線的な関係にある。
 - (4) MIG アークにおいてはアークの自己制御能が認められる。
 - (5) 定電圧電源方式においてはアークの自己制御能はアーク制御になんらの影響をも及ぼさない。
- なおこの実験に含めることはできなかったが、現在すでに炭酸ガス・アーク溶接の電源として上昇特性電源が実用されつつあることを付言する。

参 考 文 献

- (1) R. W. Tuthill: Weld. Jl. Aug. 1953
- (2) R. W. Tuthill: Weld. Jl. Feb. 1954
- (3) W. H. Helmbrecht & R. L. Hackman: Weld. Jl. June. 1954
- (4) A. Muller, J. Green & G. R. Rothschild: Weld. Jl. Aug. 1951
- (5) W. H. Wooding: Weld. Jl. May. 1953
- (6) C. E. Jackson & A. E. Shrubbsall: Weld. Jl. May. 1950
- (7) 牧, 黒川, 横尾: 日立評論 36, 3 (1954.3)
- (8) A. Muller & G. J. Gibson: Weld. Jl. June 1950
- (9) H. T. Herbst & T. McErath: Weld. Jl. Dec. 1951
- (10) J. C. Needham: British Weld. Jl. Feb. 1954
- (11) 安藤: 溶接学会誌 25, 2 (1956. 2)
- (12) J. L. Wilson, G. E. Claussen & C. E. Jackson: Weld. Jl. Jan. 1956
- (13) 内田, 溶接学会誌 25, 8 (1956.8)
- (14) 中村, 清原: アルゴンアーク溶接(溶接叢書第8巻)
- (15) A. Lesnewick & E. Cashman: Weld. Jl. July 1956

Vol. 41 日 立 評 論 No. 7

- ◎東京電力千葉火力発電所納 590 t/h 汽罐酸洗について
- ◎最近の給水加熱装置における主なる改善と今後の動向
- ◎負荷急減時の脱気器器内圧力と汽罐給水ポンプの NPSH について
- ◎中国電力瀧山川発電所納 53,200 kW フランシス水車および 58,000 kVA 水車発電機
- ◎電 弧 炉 の 自 動 制 御
- ◎集 団 ベ ル ト コ ン ベ ヤ
- ◎ころがり軸受のクリープについて(第1報)

- ◎高圧水銀ランプの特性について
- ◎タ ク シ ー 用 無 線 機
- ◎リッツ線を使用したハニカムコイルQの特性
- ◎鉄道車両の衝撃と日立ゴム緩衝器について
- ◎高電界下におけるOFケーブル油の耐コロナ特性
- ◎鑄鉄炉前試験法としての(C+Si)メータについて
- ◎球状黒鉛鑄鉄の衝撃値に及ぼす合金元素の影響
- ◎誘導電動機の保守取扱点検について

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地 振替口座東京 71824 番
 取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 振替口座東京 20018 番