TIG 溶接用タングステン電極のアーキ特性に関する研究 (第1報)*

(電圧・電流特性による陰極降下, 陽極降下の考察)

安 藤 弘 平** 西 川 淳**

Studies on Anode and Cathode Phenomena of TIG Arc*

by Kohei Ando** and Jun Nishikawa**

Abstract

The characteristics of the anode drop were studied through measuring only the arc voltage of the constricted TIG arc burned between tungsten electrode (cathode) and base metal (anode) of various materials of different heat conductivities. To study the cathode drop, we estimated the temperature distribution along the electrode by measuring the radiation energy from the pure and 2% thoriated tungsten electrode surface.

The following facts were made clear;

- (1) The anode drop is influenced by the temperature of the anode. It decreases when anode is heated to high temperature. For material of higher thermal conductivity, the anode drop is higher for given current. It decreases as the current increase tending to zero.
- (2) When the cathode is heated high by some other method (Joule's heating), the cathode drop decreases to low value and results in a negative cathode power.
- (3) Cathode drop is affected by the work function of the substance added to the cathode. The amount of the change of cathode drop predominates over the amount of the change of work function. Therefore the cathode power is affected remarkably by a small change of work function of material added to cathode.

I. は し が き

アルゴン気中でタングステン電極棒と任意の金属母板との間にアーキを発生する方法は TIG 溶接法と呼ばれて広く利用されている。この TIG 溶接アーキにおいては タングステン電極棒が高融点材料であるため 通常の溶接アーキのように電極棒が溶融消耗することがなく、またアーキも安定で、現象の観察・測定にははなはだ好都合である。本文ではこの TIG 溶接アーキの観察から求めたアーキの基本特性についての考察を述べている。

アーキ電圧を構成する 陰極電圧降下 V_K , 陽極電圧降下 V_A , アーク柱電圧降下 V_P のうち V_K , V_A は電極の溶融に直接関与し、アーキ溶接においてはこれら降下部の物理的意義を明かにすることは重要なことである。筆者の一人は 溶接棒の溶融速度の考察によって溶接アーキ (裸棒, 被覆棒) における陽極降下 V_A は 零あるいは

は零に近い値であることを示し、諸家の発表している陽極降下の値^{1),2)} は誤りであることを指摘し³⁾, 溶接アーキの基本現象の解明を一步進めた。しかしその後本稿に述べるように陽極物質が溶融状態を呈していない場合、あるいは小電流域のアーキでは 必ずしも陽極降下の値は零ではなく、陽極降下部の温度と密接な関係があり、陽極下部の熱平衡により陽極降下部の現象は説明可能であるとの興味ある結論を得るに至った。

一方 陰極降下については 直流正極性アーキを点弧した時のタングステン電極棒に沿う温度分布、電極温度を変化した時のアーキ電圧の測定などより、二、三の現象を明かにした。すなわち タングステン電極棒は代表的な熱陰極であり、熱電子放射に伴う冷却作用が存在することは電子工学分野ではすでに良く知られている所であるが、これを TIG 溶接におけるように大気圧のアルゴン雰囲気中で10~数百 Amp 程度の大電流域で陰極材料として使用した場合にも熱電子放射に伴う冷却作用を受けることを明かにした。また 仕事関数の小さい物質をタングステン中に添加することにより陰極降下そのものも低下することを明かにした。

* 原稿受付 昭和45年10月30日 (昭和39年度春季全国大会に発表)

** 正 員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Osaka University.

II. 実験方法

本研究では TIG 溶接用タングステン電極棒のアーケ特性から陽極降下、陰極降下などを求め、後に述べるような種々なる実験を行った。まず実験方法について述べる。

II-1 拘束 TIG アークに関する実験方法

通常の TIG アークでは Fig. 1(a) に示しているようにタングステン電極棒はノズル先端から 2~3mm 程度突出しており、電極・母板間に点弧したアークはノズルによる形状的な拘束は受けていない。このようなオープンアーク方式では小電流アークは必ずしも電極・母板間の最短距離に点弧するとは限らないで、陰極、陽極表面の状態などにより (a) 図の点線で示すようなア

Fig. 1 Shapes of used nozzle.

ーク形状を示し、アーク自体も不安定でアーク発生位置が常に変動し、アーク長を一定とした実験が困難なことがしばしば経験される。このようなアークの不安定を解消するため 実験ではノズルに工夫を加え、Fig. 1(b) に示すようなインサートを TIG トーチのノズル先端に挿入し、図に示すような電極棒とノズル配置とし、アークを形状的に拘束する方法を採用した。この方法によると、ノズル内部から放出するアルゴンによってアークは熱的収縮効果を受け、また形状的な収縮効果を受けてアークプラズマ柱は整流される。またこの時のアークは電極・母板間の最短距離に点弧し、アーク長を電極棒先端と母板間の幾何学的距離として取扱うことが可能となる。しかしこの拘束 TIG アークではアーク発生方式に問題が生じる。すなわち 電極・母板間の距離が小さい場合には両電極間に直接高周波火花電圧を印加すれば容易にアークの起動ができるが、拘束ノズルを使用するとアーク起動は困難となる。これがため 実験では Fig. 2 に示すようにインサートを電源の陽極側に抵抗を介して接続し、電極棒・インサート間に高周波火花電圧を印加してこれらの間にアークを発生させた。電極棒・インサート間にアークが発生すると、アークプラズマ柱はノズルから流出するアルゴン気流によってノズル外部に放出され、これが母板に接触すると電極・母板間のアークが

Fig. 2 Circuit of welding source.

発生する。この場合 電極—インサート—母板のような直列アークにならないようにインサートと電源陽極側との接続は開路しておく。

実験には棒径 3.2 mm の 2% トリヤ入りタングステン電極棒を使用し、母板として軟鋼、銅、チタン、18-8 不銹鋼、亜鉛、アルミニウムを用い、アーク長（電極先端と母板との間の幾何学的距離）を 13 mm 一定として D.C.S.P.（電極棒側が陰極）のアークを点弧して電圧・電流特性を求めた。この実験では 母板（陽極）の種類や、温度などを変えた場合の陽極降下、陰極降下の特性を問題としているので、アーク柱の電圧降下は一定に保つことが望ましく、これがため 母板の裏側は水冷して母板が溶融しない状態でアーク電圧・電流特性を求めた。もし母板が溶融すると、これに伴って母板材の一部が蒸発してアーク柱中に侵入し、アーク柱の電位傾度に影響を与える危険があるので、母板が溶融しない状態で実験したのである。（母板が溶融しない状態ではアーク柱中に母板金属蒸気が存在していないことは分光分析で確めている。）なお本実験に使用したインサートの形状は Fig. 1(b) に示すようなもので、 $a=3.6$, 4 mm とし、 $b=6, 3, 1$ mm の 3 種類を用いた。

II-2 W-W アーク特性に関する実験方法

後に述べるように 前項の実験によって陽極の温度と陽極降下とは密接な関係があることが判明したので、積極的に電極温度を変化した時の電圧・電流特性を求める実験を行った。この実験では Fig. 1(a) に示すような通常の TIG 溶接トーチを使用して、直流正極性（電極棒側が陰極）のアークをタングステン—タングステン間に点弧し、電流を 40 Amp 一定に保ち、アーク長を種々変化した時のアーク長とアーク電圧の関係を求めた。使用した電極棒（陰極）は径 2.4 mm の 2% トリヤ入りタングステン棒で、陽極としては長さ 4mm、径 6.1 mm の純タングステンを使用し、これを水冷銅板上に置き、両電極間に直流アークを点弧した。実験では 陰極または陽極が未溶融の場合と、共に溶融した場合とに

について電圧・電流特性を求めたが、電極を溶融する方法としては次のような手段を選んだ。

陰極側電極棒を溶融するには 予め直流逆極性でアークを発生し、陽極入熱によって棒端を溶融し、その後極性を切換えて本実験に入った。また陽極(母板)側を溶融する方法としては 陽極電極棒を置いている水冷銅板の冷却水の循環を停止した状態で実験を行なった。

II-3 電極棒に沿う温度分布の測定方法

直直流正極性の TIG アークを点軟している時の電極棒に沿う温度分布を知るために分光器 (Bellingham & Stanley 社製) を使用して次に述べるような実験を行なった。

実験では 直流正極性のアークを点弧し、充分安定になった後アークを遮断して、電極棒の突出し長さ 40 mm のうち棒端附近の 20 mm 電極棒から放射される光を乾板に露光させた。アーク点軟中の電極棒の温度分布を知るためには点弧状態で撮影することが好ましいが、点軟状態では乾板上の棒端露光部にアークのスペクトルが現われ、結果を誤認することになるので、実験ではアークを遮断した直後にすばやく撮影した。またスペクトルの波長を知るため基準となる鉄アークのスペクトルを同一乾板上に撮影した。

使用した電極棒の種類は 1.6 mm 径の純タングステン電極棒と 2% トリヤ入りタングステン棒で、アーク電流 150 A mp の場合について実験を行なった。

上述のようにして得た乾板の黒化度を理化学研究所製マイクロフォトメータによって測定し、これより温度分布を求めた。

III. 実験結果

拘束 TIG アークの電流・電圧特性を Fig. 3, 4 に示

Fig. 3 Voltage-current curves for different base metals in constricted TIG arc.

Fig. 4 Voltage-current curves for different nozzle lengths in constricted TIG arc.

Fig. 5 Relationship between arc voltage and heat conductivity of base metal.

す。Fig. 3 はノズル径 3.6 mm, 細孔部の長さ 3 mm の拘束ノズルを用いた場合で、母板として銅、アルミニウムおよび不銹鋼を用いている。図に見られるように約 100 Amp 以上ではアーク電圧に差が認められないが、小電流域では母板が銅の場合にアーク電圧が最も高くなっている。

Fig. 4 は拘束ノズルの寸法のうちノズル径を 3.6 mm 一定とし、ノズルの長さを 6, 3, 1 mm と変化した場合である。図に見られるように およそ 70 Amp 以上ではノズルの長さが長い場合の方がアーク電圧が高くなっている。

Fig. 5 はタングステン電極棒と各種母板間に 30 Amp の D.C.S.P. の拘束 TIG アークを点軟した時の結果を示すもので、図に見られるように 一定電流 (30 Amp), 一定アーク長 (13 mm) におけるアーク電圧と母板材料

の熱伝導度との間には直線的関係があるものようである。

Fig. 6 は電極棒の突出し長さを変化した時の直流正極性の TIG アークのアーク特性を示すもので、突出し長さが大きいと、アーク電圧が小さくなっている。図に示す結果は 電極棒、導線中の電圧降下を差引いた真のアーク電圧を示すもので、電極棒の冷却条件、その他の周囲条件を同一の状態で行なっているためこの結果は陰極の平均温度が高いとアーク電圧(実は陰極降下)

Fig. 6 Effect of cathode extension on arc voltage.

Fig. 7 Arc voltages under different electrode conditions.

- 1) Both anode and cathode non-molten
- 2) Cathode only molten
- 3) Anode only molten

が小さくなることを物語っている。IV節参照。

Fig. 7 は陰極(または陽極)が未溶融の場合と溶融している場合のアーク特性を示すもので、図中曲線①は陰極、陽極共に未溶融の状態のもの、曲線②は陰極は溶融、陽極は未溶融、曲線③は陰極が未溶融で、陽極が溶けている時の結果を示している。陰極または陽極が溶融状態になっている時のアーク電圧は未溶融状態の場合より低くなっている。

Fig. 8 は直流正極性の TIG アークを点弧した時の電極棒に沿う温度分布の測定結果を示す。すでに述べたように本実験では温度の直接測定は行っておらず、分光器による間接的な方法を採用した。電極端附近の温度が図に見るようになること、すなわちトリヤ入りタングステンでは先端部の温度がかえって低下していること、あるいは純タングステンでは同様の温度低下の傾向を示しながら、その最先端部で急上昇していることは陰極降下の考察に関連して興味ある問題であり、逆に Fig. 8 の温度測定結果の信頼度が大いに問題となる。以下 Fig. 8 のような温度を求めた方法について述べる。

Fig. 8 Temperature distributions along the electrodes.

高温物体から放出されるふく射については次のプランクのふく射公式が成立することが知られている。

$$E(\lambda, T) = \epsilon_{\lambda} c_1 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad \dots\dots\dots (1)$$

上式の $E(\lambda, T)$ は物体の表面の輝度、すなわち波長 λ 、温度 T における単色比ふく射強度を表わしている。 c_1, c_2 は定数で、 ϵ_{λ} は完全黒体のふく射率である。このプランクの公式を利用すると、次のように乾板の黒化度から温度 T が求められる。すなわち一定波長 λ_c に対

するプランクの公式は次のように書ける.

$$E_{\lambda c} = k_1 \frac{1}{e^{k_2/T} - 1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

一方 写真乾板上の照度 L はふく射強度 $E_{\lambda c}$ に比例するから, 有効露光 Σ は露光時間 t を一定とするとやはり $E_{\lambda c}$ に比例することになる. すなわち

$$\Sigma \propto \int L dt \propto L E_{\lambda c} \quad \dots\dots\dots (3)$$

露光と乾板の濃度 (黒化度) との関係は Hurter-Driffield の示性曲線のラチチュード部 (直線部) ではそれぞれの対数値は一次関係にあり, 本実験に使用した乾板では ラチチュード部の勾配 $\tan \alpha$ は 2 であるため次の関係が成立する.

$$\Sigma \propto \sqrt{I_0/I} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし I_0 は黒化した乾板に垂直に入射した光の強さ, I は透過光の強さを示す.

Fig. 9 は電極長さに沿う黒化度を $\lambda = 4000 \text{\AA}$ の位置について示したものである.

Fig. 9 Radiation energy distributions along the electrodes.

さて黒化度と $E_{\lambda c}$ との関係は (3), (4) 式によって

$$\sqrt{I_0/I} \propto \Sigma \propto L \propto E_{\lambda c} \quad \dots\dots\dots (5)$$

であるから, これから温度が次のように求められる. すなわち 今 (1) 式の定数として

$$\left. \begin{aligned} c_1 &= 10.8 \times 10^{-13} \text{ (kcal} \cdot \text{cm}^2/\text{hr)} \\ c_2 &= 1.438 \text{ (cm} \cdot \text{deg)} \\ \epsilon_{\lambda} &= 0.48 \\ \lambda &= 4000 \text{ \AA} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

とおくと (ϵ_{λ} についてはタングステンの各温度における波長とふく射率の諸表より近似的に $\epsilon_{\lambda} = 0.48$ 一定としている), (2) 式の k_1, k_2 は

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 5.06 \times 10^9 \text{ (kcal/cm}^2 \cdot \text{hr)} \\ k_2 &= 3.60 \times 10^4 \text{ (deg)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

となり, (2) 式は

$$E = k_1 \frac{1}{e^{k_2/T} - 1} \approx k_1 e^{-k_2/T} = 5.06 \times 10^9 \times e^{-3.6 \times 10^4/T} \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる. この関係を図示すると Fig. 10 のようになる.

Fig. 10 Relationship between radiation energy and temperature.

Fig. 10 による関係から Fig. 9 のような黒化度曲線に対応する温度分布を求めるには, 曲線上の一定の温度が判っていることが必要であるが, これには次の方法を用いた. すなわち 純タングステン電極棒の場合は直流正極性アーキを点軟するとアーキ発生端が溶融していることを利用し, 棒端の温度をタングステンの溶融点温度の 3655°K とした. また 2%トリヤ入りタングステン電極棒は直流正極性アーキは棒端が溶融しないので, 使用した電極棒の縦断面について顕微鏡写真を撮影し, 再結晶組織と焼結組織の境界を求め, この境界の温度を再結晶温度 2373°K とした.

既掲の Fig. 8 は上述のようにして求めた電極棒に沿う温度分布を示している. 純タングステンでは棒先端の温度が最高値を示し, 常に溶融していて, アーキ発生端よりわずかに離れた所に温度の低い谷の部分があり, さらに温度の高い山の部分が存在しているのに比べ, トリヤ入りタングステンではアーキ発生端よりもコレット (電極の握み部分) 側に温度の最高値を示す点があり, 興味ある結果を示している.

IV. 考 案

陽極前面のアーキ柱温度と陽極降下との関係については Busz-Peucker など^{4,5)}が探針法によって直接測定した結果を報告している。それによると陽極前面のアーキ柱温度が高くなると陽極降下は減少する傾向を示しているが、探針法による測定は 大気中のアーキについて は 探針からの熱電子放射、探針を挿入することによりその附近が冷却され 挿入されない状態の真の電位を与えないなどの問題があり、彼らの示す結果そのまま容認することはできない。本実験では このような探針法の欠点を避けるため タングステン電極棒と任意の金属母板間にアーキを点弧し、溶接電流、アーキ長、アーキの拘束状態、陽極材料の温度などを種々変えて、陽極降下の変化を求めている。Fig. 3~5 に示す結果について考察を加えると次の通り。

この実験ではすでに述べた通り、アーキはインサートで形状的に拘束されているため母板表面の状態に影響されることなく、真直にタングステン電極棒と母板との間に出ていると考えてよい。またこの実験は母板表面は溶融していない状態で行っているため、アーキ空間には母板物質の蒸気はなく、アーキ電圧を構成する因子のうち陰極降下(タングステン側)およびアーキ柱降下は母板の影響を受けないはずである。このように考えると Fig. 3, 4, 5 は陽極降下について基本的な問題を提起している。すなわち Fig. 3 に見るように 30 Amp 附近では、母板が銅の場合にアーキ電圧が他のものよりも高い値を示しているが、上述のように アーク柱降下、陰極降下は母板の種類に無関係に一定のはずであるから、図に見られるアーキ電圧の差は陽極降下 V_A の差に原因があると推定される。母板の熱伝導度の良いものほどアーキ電圧(実は陽極降下)が高くなっているが、これは母板の熱伝導の差による冷却作用の差のために陽極前面の温度に差が生じ、これが陽極降下に差を生じていると判断される。この考えをさらに確めるため母板材料として Ti, Zn, Fe などを用いた場合の結果を Fig. 5 に示している。図に見るように 一定電流(30 Amp)、一定アーキ長(13 mm)におけるアーキ電圧と母板材料の熱伝導度との間には直線的の関係があり、母板表面(陽極降下部)の熱的状態が陽極降下に密接な関係があることを物語っている。ただしこれらの実験においてはすべて一定板厚(6 mm)で、裏面を一定水冷条件に保持しているので、表面の陽極端温度は陽極発熱と材料の熱伝導度とによってのみ支配される状態になっている。

さて アーク柱では陽イオン流は約 0.1% の僅かなものであるが、陽極表面からは陽イオンは放出されないた

め陽極降下部ではこの陽イオンの生成供給を行う必要がある。陽イオンの供給方式には電界電離と熱電離とが考えられる。上述のように陽極表面からは陽イオンが放出されないため、陽極前面では陽イオンが不足し、これがため電子流(100%の電子流)の形成する負の空間電荷のために陽極降下が存在すれば アーク柱より飛来した電子は この陽極降下部において加速され、アーキ柱中よりも高いエネルギーを有することになり、中性粒子に衝突してこれを電離し、生じた陽イオンがアーキ柱中への陽イオンの供給源となる。一方 陽極降下部の温度が高い場合にはその部分の熱電離のために陽イオン、電子が豊富に形成せられ、この陽イオンが前記 0.1% の陽イオン流の供給源になり得る。したがって このように温度が高い場合には加速された電子による衝突によって陽イオンを生成する必要性は少くなり、 V_A が低下する。このように考えれば Fig. 3, 5 の実験結果は説明・理解できる。

次に Fig. 4 は 拘束ノズル径を 3.6 mm 一定とし、細孔部の長さを変化した時のアーキ電圧・電流特性を示しているが、70 Amp 以上では拘束部の長い方がアーキ電圧が高くなっている。大電流が狭い部分を通るとノズルによる冷却作用などのためアーキ柱電位傾度が大きくなり、これがためアーキ電圧が上昇する、したがって 図に見る 70 Amp 以上のアーキ電圧の関係は容易に理解できる。しかるに 70 Amp 以下ではアーキ電圧の関係が全く逆の関係を示しているが、これはアーキ柱の拘束度に基づくアーキ柱電圧降下の増大の程度と高温ガス気流が拘束により整流されて母板に集中的に衝突し、これを熱する程度の大小関係により説明される。すなわち 小電流域ではアーキ柱の拘束によるアーキ柱の電圧降下の上昇よりもプラズマが集中的に母板に与えられることにより母板表面(陽極表面)の温度が高く 熱電離が可能となり、そのための陽極降下の低下がいちじるしいためであると説明される。

上記の諸現象は アークの状態、母材の材質により陽極近傍の温度変化を与えた場合であるが、Fig. 7 の結果は電極温度を変化して アーク電圧の変化を求めたものである。図中の曲線①は 陰極、陽極ともに未溶融の時のアーキ電圧とアーキ長との関係を示している。曲線③は陽極タングステン棒を置いている水冷銅板の冷却水の流れを停止して、陽極タングステン電極端が溶けた状態の時の関係で、曲線①と③の差は陽極(母板側)タングステンが溶けているか否かによって生じたもので、この電圧差約 1 Volt は陽極降下 V_A の差と考えられる。アーキの状態は同一でも溶融タングステンに接する陽極前面では、その温度が高く、熱電離による陽イオンの供給が容易となったことを物語っている。

以上は陽極降下部の温度と陽極降下の大きさについて行った実験結果についての考察であるが、次に陰極温度と陰極降下との関係について誌す。

Fig. 6 は陰極側のタングステン電極棒の長さを変化した場合のアーキ電圧とアーキ長との関係を示すもので(アーキ電流 40 Amp 一定)、電極の突出し長さが長いほど同一アーキ長におけるアーキ電圧は小となっている。ここに示すアーキ電圧はすでに述べたように電極棒中、導線中の抵抗降下を除いた真のアーキ電圧を示しており、アーキ電圧を構成する因子のうち V_P , V_A に関しては実験条件の関係上一定であると考えられるから、図は陰極降下 V_K が陰極温度によって異なることを物語っている。すなわち 電極棒の突出し長さが長くて、温度が高い方が陰極降下が小さくなる。

Fig. 7 の曲線②はさらにこれを実証するもので、曲線①と②とはアーキ柱、陽極の態は同一で、陰極側のタングステン電極棒が①では未熔融で、②は熔融状態にある。陰極温度が高い曲線②が①に比べてアーキ電圧(陰極降下)が約 0.5~1 Volt 低くなっている。

周知のようにタングステン熱電子放出形電極の代表的のものであり、温度が高くなれば熱電子放出が盛となって、陰極降下 V_K が低くてもアーキの必要とする電子流を供給する。温度が低くなれば熱電子流の供給が困難となり、電界放出の助けをかりることが必要となり V_K が増大するのであって、Fig. 6, 7 に述べたアーキ電圧の差はこれによって説明・理解できる。

次に Fig. 8 は求めた電極長さに沿う温度分布についてであるが、トリウム入りタングステンの場合には電極端温度が最高とならず、かえって少し低くなっている。これは次のようにアーキ発生に伴って陰極部には冷却作用が存在していることを物語っている。すなわち 今アーキ発熱を零と仮定して電極中の抵抗発熱についてのみ考えると、発熱の一部は ふく射によって失われるが、一部はトーチ内の電極保持部を通じて冷却水に与えられるので、温度は当然 先端部において最高となる。したがって これに電極端のアーキ熱の影響を考えると、アーキ熱を正とする限り、電極端の温度は最高となるはずで、図のようにこれが低くなっているのは次式で示す陰極の発生熱 P_K が負であると考えざるを得ない。

$$P = I(V_K - V_w - V_T) \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここに V_K は陰極降下、 V_w は陰極物質の仕事函数、 V_T は電子の持ち去る運動エネルギーを示す。

上式の P_K を負ならしめるためには 陰極降下 V_K が ($V_w + V_T$) の値よりも小であることが必要である。一般に仕事函数 V_w の小さいものでは 陰極降下が小さくなることは被覆棒の熔融現象においてよく知られている所

で、トリヤ入りタングステン電極のような熱電子放出形のものでは V_K が小になることは容易に想像できることであるが、上述のように P_K が負になることは トリヤ入りタングステン電極棒の陰極降下は極めて小さい値になっていることを意味している。

次に Fig. 8 に見る純タングステン電極に対する温度曲線はトリヤ入り電極の場合に比べて高く、かついささか奇妙な形になっている。図に見るように電極端から約 10 mm 程度へだてた点に温度の極大点が生じているがこれはトリヤ入り電極の場合と同様 抵抗発熱と電極端からのアーキによる冷却作用によるものである。ただ電極先端附近において温度が多少上昇の傾向を示しているが、これは先端部が熔融して、その部分の固有抵抗が増大して発熱が増しているからである。

なお上述のように P_K が負となるのは電極中の抵抗熱のために電極温度が上昇し、そのために熱電子放出が盛となり、回路の要求する電子流をじゅう分供給できる状態になっているからで、アーキ起動直後のように電極温度がいまだ低い場合には P_K が正となることはいうまでもない。云わば陰極降下 V_K は抵抗発熱など外部条件によって変化し、ちようどうまく回路電流を供給するように自己調整しているわけである。

さらに Fig. 8 において興味あることはトリヤを入れて V_w を低下させると、 V_K が V_w の低下以上に低下する点である。 V_w が低いと一定の熱電子放出に対して温度が図に見るように低くなっているが、この時仮に V_K の低下が V_w の低下に等しいとすると(9)式の P_K は変化せず、温度は変化しないはずである。しかるに実際には温度が低下しているのだから、 V_K の低下は V_w の低下よりもいちじるしいと考えなければならぬことになる。

V. 結 論

アーキ電圧を構成する陰極降下 V_K 、陽極降下 V_A 、アーキ柱降下 V_P のうち 特に陰極、陽極降下部の物理的意義を明かにするために行った実験から次に誌すようなことが判明した。

熔融を伴う溶接アーキ(被覆棒、裸棒)では V_A は零または零に近い値であることはすでに筆者の一人が明かにした所であるが、小電流アーキ、熔融を伴わない状態では 陽極表面近傍(陽極降下部)の温度が高ければ 中性粒子の運動エネルギーも大きく、陽極降下部中の衝突電離によって陽イオンを生成する必要性は低下し、 V_A は低下すると考えられる。つまり陽極降下 V_A は陽極降下部の熱的平衡によって変化すると考えられるが、これを熱伝導度の異なる電極材料、プラズマ気流に

よる陽極への熱の集中度を変えた場合などの種々なる実験条件によって実証した。

陰極降下については 電極温度によりその影響を受けることを大電流域の溶接アークにおいて実験的に示し、熱電子放出形陰極あるいは仕事函数の小さい物質を添加した熱陰極においては陰極降下は極めて小さい値であり、陰極における発熱が負であることを示した。

本研究は当時学生であった 飯牟礼、播本、福井の諸氏の協力を得て行なった。諸氏に感謝の意を表する所である。

文 献

- 1) Engel, A.V., Steenbeck, M.; Elektrische Gasentladungen, ihre Physik. Bd. I (1932), Bd. II (1934).
- 2) Conrad, H.V.; Untersuchungen über die Spannungsverteilung im Schweißlichtbogen. Elektroschw. 8, 101, 125 (1937).
- 3) 安藤弘平, 長谷川光雄; 「溶接アーク現象」産業図書株式会社, (昭和37年)
- 4) Busz-Peuckert, G., Finkenburg, W.; Die Abhängigkeit des Anoden Falles von Stromstärke und Bogelänge bei Hochtemperaturbogen. Z. Phys., 140, 540 (1955).
- 5) Busz-Peuckert, G., Finkenburg, W.; Zum Anodemechanismus des thermischen Argonbogens. Z. Phys. 144, 244 (1956).

金属学会セミナー

液体金属の構造と物性

協賛 応用物理学会 金属表面技術協会 軽金属学会 電気化学協会 日本鋳物協会
日本化学会 日本機械学会 日本原子力学会 日本鉱業会 日本材料学会
日本神鋼協会 日本塑性加工学会 日本鉄鋼協会 日本物理学会 溶接学会

液体金属の構造や物理化学的諸性質は、実際応用の立場から、また理論的にも非常に興味が深く重要な問題であるにもかかわらず、従来あまり詳細にわたる検討が加えられておらず、未開発に近い状態にあります。しかし、近年微視的見地から液体金属の諸性質を論議しようとする気運が高まり、多くの研究者の努力によって一段の進歩がみられるようになって参りました。

わが国においても 1972 年に第2回液体金属の諸性質に関する国際会議の開催が予定されるなど、研究活動も一段と活発になってきておりますので、関連する各分野の要望に応じて、この機会に液体金属の構造と物性に関するセミナーを開催することにいたしました。

本セミナーは大学学部卒または大学院修士程度の技術および研究者を対象に、液体金属の構造および物性を、実験結果を中心とし、わかりやすく説明しようとするねらいであります。

日 時・昭和46年5月7日(金)～8日(土) 9.30～17.30

場 所・大阪府社会福祉会館(大阪市南区田島町2 電話(06)762-5681)

聴講料(テキスト代を含む)

会 員	5,000円
非 会 員	7,000円
学 生 会 員	1,400円
学生非会員	2,000円

定 員 200名(ただし定員に達し次第締切ります)

申込締切 46年4月25日

申込先 980仙台市大町1丁目1番13号(東活ビル)
日本金属学会 電話(0222)23-3685

日 程

◇第1日 5月7日(金)

9.30～10.30	1. 物性から見た気、液固相の相違
10.30～12.30	2. 金属液体における原子配列(I)
13.30～14.30	3. 金属液体における原子配列(II)
14.30～16.30	4. 純金属液体の電子的性質(I)
16.30～17.30	自由討論

名大工学部助教授	野口精一郎
東北大金研教授	竹内 栄
東北大金研教授	竹内 栄
東北大理学部助教授	渡部 三雄

◇第2日 5月8日(土)

9.30～10.30	5. 純金属液体の電子的性質(II)
10.30～12.30	6. 粘性・拡散等の動的性質
13.30～15.00	7. 純金属液体の時空構造
15.00～16.30	8. 融解現象
16.30～17.30	自由討論

東北大理学部助教授	渡部 三雄
東北大工学部教授	江島 辰彦
東北大工学部助教授	田中 実
京大基礎研教授	松田 博嗣